



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: DAVID CALVERA COSCULLUELA

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol de Treball Final de Grau:

ESTUDI DE LA PLEGABILITAT EN SUPERFÍCIES REGLADES
APLICADA AL DISSENY D'UNA BOCA DE METRO

Director/a: MARTÍ COMELLAS ANDRÉS

Presentació

Mes: Juliol

Any: 2018

ESTUDI DE LA PLEGABILITAT EN SUPERFÍCIES REGLADES APLICADA AL DISSENY D'UNA BOCA DE METRO

DAVID CALVERA COSCULLUELA

Grau en Enginyeria Mecànica

Treball dirigit per: MARTÍ COMELLAS ANDRÉS

Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial

C / Jaume II, 69 25001 Lleida (Espanya)

Tel: +34 653 431 067 E-mail: dcalvera@gmail.com

Juliol 2018

ÍDEX DE CAPÍTOLS

1. INTRODUCCIÓ.....	9
1.1 CONTEXT.....	9
1.2 DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE	10
1.3 OBJECTIUS.....	10
2. ESTUDIS PREVIS	12
2.1 ANTONI GAUDI.....	12
2.1.1 BIOGRAFIA.....	12
2.1.2 OBRA	15
2.1.3 INTRODUCCIÓ A LA GEOMETRIA GAUDINIANA	19
2.2 PLEGABILITAT I SUPERFÍCIES REGLADES	25
2.2.1 REFERENTS EXTERNS	25
2.2.2 ESTUDI PRÀCTIC	26
3. INTENCIONS DE DISSENY	32
3.1 IDEA PROJECTUAL	32
3.1.1 REFERENTS	32
3.1.2 UBICACIÓ.....	33
3.1.3 SIMBOLISME	33
3.1.4 OPERATIVITAT	36
3.2 SEL·LECCIÓ DE MECANISMES	37
3.2.1 REQUERIMENTS.....	37
3.2.2 METODE D'OBERTURA	38
3.2.3 TRANSMISSIÓ	39
3.2.4 CASOS PARTICULARS.....	41
4. CÀLCULS	44
4.1 DEFINICIÓ DE SUPERFÍCIES.....	46
4.1.1 CALCUL DE CORBES SOBRE EL PLA	46
4.1.2 CALCUL DE SUPERFÍCIES EN L'ESPAI.....	50
4.1.3 GEOMETRIA ESCOLLIDA	56
4.2 DIMENSIONAMENT D'ELEMENTS PRINCIPALS	59
4.2.1 BRAÇOS.....	59
4.2.2 BULONS I ORELLES.....	74

4.2.3 CORREDERA.....	77
4.2.4 ARBRE DE TRANSMISSIÓ	89
4.2.5 BIGA TRANSVERSAL.....	93
5. PLÀNOLS.....	102
01_EMPLAÇAMENT.....	102
01.01 Emplaçament 1:1500 (A4).....	102
01.01 Emplaçament 1:750 (A3).....	102
02_BOCA DE METRO	102
02.01 Explosionat Boca de Metro (A3).....	102
02.02 Vistes generals Boca de Metro (A2).....	102
02.03 Secció Transversal _ Detalls (A2).....	102
02.04 Secció Longitudinal _ Detalls (A2).....	102
03_ESTRUCTURA BASE	102
03.01_Explosionat Estructura Base (A3).....	102
03.02_Vistes Generals Estructura Base (A3).....	102
03.03_Forjat (A4).....	102
03.04_Bigues Transversals (A4).....	102
03.05_Perfil Quadradillo (A4).....	102
03.06_Esquadra – Suportació Perimetral (A4).....	102
03.07_Graó Superior de l’Escala (A4).....	102
03.08_Arc Perimetral (A4).....	102
04_ESCALA CONJUNT	102
04.01_Explosionat Escala Conjunt (A3).....	102
04.02_Vistes Generals Escala Conjunt (A2).....	102
04.03_Nervis de Suport Longitudinal (A4).....	102
04.04_Nervis de Suport Transversal (A4).....	102
04.05_Mòdul Diafragmàtic de l’Escala (A3).....	102
04.06_Costella Estructural del Mòdul (A4).....	103
04.07_Perfil Angular de Suportació (A4).....	103
04.08_Graó (A4).....	103
04.09_Vidre del Passamà (A4).....	103
05_MECANISME.....	103
05.01_Seqüència d’Obertura (A2).....	103
06_CORREDERA	103

06.01_Conjunt Corredera (A3)	103
06.02_Cos de la Corredera (A4)	103
06.03_Explosionat del Carrilet (A3).....	103
06.04_Cos del Carrilet (A3).....	103
06.05_Fixació Corredera amb Art. C (A4).....	103
06.06_Tapa de la Corredera (A4)	103
07_BRAÇOS	103
07.01_Explosionat Braç Tipus (A3).....	103
07.02_Braç Manovella (A3)	103
07.03_Braç Biela (A3)	103
07.04_Pletina de Connexió amb Art. C (A4).....	103
07.05_Passador Articulations - Mascle (A4)	103
07.06_Passador Articulations - Femella (A4).....	103
08_GRAÓ-LLEVA	103
08.01_Posicions Extremes del Mecanisme (A3).....	103
08.02_Vistes generals i explosionat Graó-Lleva (A3).....	103
08.03_Guia Lateral del Mecanisme (A4)	103
09_REIXA LATERAL.....	104
09.01_Posicions Extremes del Mecanisme (A3).....	104
09.02_Seqüència d'Obertura (A3).....	104
09.03_Lama Vertical de la Reixa (A3).....	104
09.04_Fixació Superior de la Reixa (A4).....	104
09.05_Fixació Lateral de la Reixa (A4).....	104
09.06_Element de Connexió entre Barres (A4).....	104
6. CONCLUSIONS	105
7. BIBLIOGRAFIA.....	107
8. ANNEXOS	108
8.1 CODIS DE PROGRAMACIÓ OCTAVE/MATLAB	108
8.1.1 FUNCIO "PARAMETRES.M"	108
8.1.2 FUNCIO "CORBES.M".....	109
8.1.3 FUNCIO "SUPERFICES.M"	111
8.1.4 FUNCIO "PARAMETRES_OPT.M"	114
8.1.5 FUNCIO "OPT_BRACOS.M"	117

8.1.6 FUNCIO "CALCUL_BRACOS.M"	120
8.1.7 FUNCIO "OPT_BULO_ORELLES.M"	123
8.1.8 FUNCIO "OPT_CORREDERA.M"	126
8.1.9 FUNCIO "OPT_ARBRE_TRANSMISSIO.M"	134
8.1.10 FUNCIO "OPT_BIGA.M"	136
8.2 TANTEJOS GEOMÈTRICS EN LA DEFINICIÓ DE SUPERFICIES.....	142
8.2.1 OPCIO 1	142
8.2.2 OPCIO 2	146
8.2.3 OPCIO 3	150
8.2.4 OPCIO 4	154
8.2.5 OPCIO 5	158

ÍDEX DE FIGURES

Imatge 1 – Retrat d'Antoni Gaudí	12
Imatge 2 - Gaudí (al fons), amb el seu pare (centre), la seva neboda Rosa i el doctor Santaló en una visita a Montserrat (1904).....	13
Imatge 3 - Representacions gràfiques de l'hotel que Gaudí va dissenyar per a la ciutat de Nova York i que mai es va arribar a construir	14
Imatge 4 - Detalls disseny de mobiliari interior.....	18
Imatge 5 - Esboç de projecte de l'església de la Colònia Güell	18
Imatge 6 - Taula de treball de Gaudí en el seu obrador de la Sagrada Família	20
Imatge 7 - Mosaic triangular de parquet (Casa Milà) i mosaic hexagonal de ceràmica (Passeig de Gràcia)	21
Imatge 8 - Arcs catenaris (a les golfes de la casa Milà)	21
Imatge 9 - Espiral (al sostre d'una de les habitacions de la casa Milà)	21
Imatge 10 - Banc sinuós del Parc Güell	22
Imatge 11 - Helicoide representat al tractat	22
Imatge 12 - Formació d'una hiperboloide (model amb fils elàstics i bases rotatòries)	23
Imatge 13 - Representació gràfica d'una superfície conoidal (coberta de les Escoles Provisionals de la S. F.)	23
Imatge 14 - Esbós de l'arquitecte suís Le Corbusier per al projecte del Pavelló Phillips, modelat íntegrament amb paraboloïdes hiperbòlics	25
Imatge 15 - Torre de control de l'aeroport de Benidorm amb un exoesquelet amb estructura d'hiperboloide	25
Imatge 16 - Coberta de l'arquitecte Santiago Calatrava per una bodega de la Rioja utilitzant el sinusoïde	25
Imatge 17 - Porta d'accés per a vehicles a la fàbrica Ernsting. Arquitecte Calatrava	26
Imatge 18 - Taula plegable. Dissenyador desconegut.....	26
Imatge 19 - Parada de bus a Kazajistan, artista desconegut	32
Imatge 20 - Boca de metro Porte Dauphine a París, Hector Guimard	32
Imatge 21 - Boca de metro a Bilbao, Norman Foster	32
Imatge 23 - Ubicació de la boca de metro.....	33
Imatge 23 - Aspecte actual de la boca de metro	33
Imatge 24 - Esbós descriptiu de la idea projectual: TRIBUT A L'OBRA DE L'ARQUITECTE ANTONI GAUDI. Relació visual i formal entre la boca de metro i la coberta de la casa Batlló. ..	34
Imatge 25 - Coberta de la casa Batlló de Barcelona, arquitecte Antoni Gaudí.	35
Imatge 26 - Esbós descriptiu de la idea projectual: Dos dracs cap i cuats que custodien l'entrada a les entranyes de la ciutat	36
Imatge 27 - Croquis inicial en planta de les dimensions de la boca de metro.	37
Imatge 28 - Anàlisi geomètric del mètode d'obertura dels braços de l'estructura.....	38
Imatge 29 - Referent industrial del sistema d'obertura de les portes d'un ascensor	39
Imatge 30 - Esquema de funcionament de la transmissió i l'accionament del mecanisme.....	40
Imatge 31 - Problema d'interferència de la corredera amb el graonat. Vista en secció longitudinal.	41
Imatge 32 - Mecanisme lleva-palpador aplicat al primer graó de l'escala	42

Imatge 33 - Mecanisme 4R aplicat a un paral·lelogram	43
Imatge 34 - Disseny de la reixa de protecció dels capçals de l'estructura	43
Imatge 35 - Càlcul i optimització automatitzats. Esquema relacional de funcions Matlab/Octave	45
Imatge 36 - Corbes definidores de la posició de les articulacions A i B del mecanisme	46
Imatge 37 - Esquema geomètric de les variables d'entrada i sortida en la definició dels arcs de circumferència perimetrals	48
Imatge 38 - Croquis i esquema geomètric del mecanisme de plegat de braços	50
Imatge 39 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (1)	51
Imatge 40 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (2)	53
Imatge 41 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (3)	53
Imatge 42 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (4)	54
Imatge 43 - Corbes delimitadores de les articulacions A i B	56
Imatge 44 - Seqüència de plegat geometria escollida. Recorregut = 0 - 800 mm	57
Imatge 45 - Seqüència de plegat geometria escollida. Recorregut = 1000 - 1600 mm	58
Imatge 46 - Catàleg de xapes laminades d'acer inoxidable. Seccions de 0.5mm a 30mm. Casa "METALCO Prolians"	60
Imatge 47 - Diagrama de cos lliure (D.C.LL.) de cada un dels braços d'un mecanisme tipus (i).	61
Imatge 48 - Diagrama de moments flectors, tallants i axils per al braç-biela	64
Imatge 49 - Secció tipus del braç. Esquema dimensional de la secció	65
Imatge 50 - Composició de les diferents tensions en la secció més desfavorable	67
Imatge 51 - Tipus de pandeig en barres comprimides segons fixació en els extrems	70
Imatge 52 - Optimització del pes de l'estructura dels braços segons gruix de l'ànima i l'ala ..	71
Imatge 53 - Forces descomposades en les articulacions dels braços - Requeriment A	72
Imatge 54 - Forces descomposades en les articulacions dels braços - Requeriment B	73
Imatge 55 - Detall en planta i perfil d'una unió articulada tipus	74
Imatge 56 - Estudi en secció d'una unió articulada buló-orelles. Àrees bàsiques per al càlcul	75
Imatge 57 - Tensions maximes suportades per cada combinació de "D" i "cor"	76
Imatge 58 - Forces aplicades sobre la corredera. Vista en secció.	77
Imatge 59 - Forces aplicades sobre la corredera. Vista en planta i alçat.	78
Imatge 60 - Simplificació de forces aplicades sobre la corredera. Vàlid per a la direcció "y" i "z" i pels requeriments A i B	79
Imatge 61 - Aplicació del mètode dels 3 moments en la corredera del mecanisme	80
Imatge 62 - Diagrama de moment torsor. Requeriment A	83
Imatge 63 - Diagrames de moments flectors respecte eix Y i Z i diagrama de moment torsor. Requeriment A	83
Imatge 64 - Tensions generades sobre una secció de la corredera. Flexió en "y", flexió en "z" i torsió	84
Imatge 65 - Dimensions bàsiques de la secció de la corredera	84
Imatge 66 - Tensions màximes generades en cada secció de la corredera. Anàlisi per cadascuna de les seccions comercials de tub rectangular. Superposició amb el valor de tensió admissible	85
Imatge 67 - Catàleg de perfils rectangulars d'acer laminat en fred. De la casa METALCO. Senyalització dels casos d'estudi	86

Imatge 68 - Esquema de la superposició de deformacions aplicada al cas de la corredera	87
Imatge 69 - Deformada de la corredera al llarg del primer vano. Comparativa per a diferents perfils de secció rectangular. Superposició amb el valor de la deformada màxima admissible.	88
Imatge 70 - Esquema de les dimensions i accions aplicades sobre l'arbre de transmissió.....	89
Imatge 71 - Tensions màximes en cada tram de l'arbre segons diàmetre efectiu. Superposició de la tensió màxima admissible del material	92
Imatge 72 - Forces aplicades sobre la biga transversal. Vista en alçat.....	93
Imatge 73 - Esquema dimensional de la secció d'estudi de la biga. Amb buit central per al pas de la corredera.	94
Imatge 74 - Càlcul dels moments d'empotrament M_S i M_R mitjançant el mètode de la superposició	96
Imatge 75 - Diagrames de moment flector sobre eix "x" i axil de la biga transversal. Anàlisi sense aplicar simplificacions en les accions.	97
Imatge 76 - Esforços que actuen sobre la secció V de la biga transversal. La zona més sol·licitada sempre serà en el límit superior	97
Imatge 77 - Esquema axonomètric d'una repartició equitativa dels esforços verticals als 4 recolzaments del carrilet sobre l'ala de la biga.....	99
Imatge 78 - Optimització del pes de la biga transversal segons gruix de l'ànima i l'ala.....	100
Imatge 79 - Gràfic de corbes de nivell en que es mostra la fletxa màxima a les bigues centrals segons gruixos. REQUERIMENT A.....	101
Imatge 80 - Gràfic de corbes de nivell en que es mostra la tensió màxima a les bigues centrals segons gruixos. REQUERIMENT A.....	101

1. INTRODUCCIÓ

1.1 CONTEXT

Aquest treball d'investigació neix de l'interès sobre la geometria que he cultivat des de petit. Com podem definir el món físic que ens envolta? Com podem modificar-lo per a fer la nostra vida més confortable? Aquesta curiositat sobre la forma i el seu domini va ser la que em va portar a iniciar els estudis d'Arquitectura a la Universitat Politècnica de Barcelona l'any 2009. Cinc anys més tard i amb la carrera mig enllestida, vaig decidir anar un pas més enllà.

Ja havia après els fonaments de la definició espacial i les maneres en que els humans interaccionem amb les volumetries que ens envolten. Però es tractava d'escenaris estàtics, elements immòbils i invariables respecte el temps. En nostre entorn, en canvi, està caracteritzat per elements canviants i susceptibles al pas del temps. Com es podria dominar el funcionament de les màquines i de cadascuna de les seves peces? Com afecten les forces que ens envolten a la forma que prenen les coses? Com es pot arribar a concretar l'energia d'una entitat tan voluble com l'aigua? Quines lleis regeixen sobre els elements sense forma com els fluids?

Tot això em va portar a començar els estudis d'Enginyeria Mecànica l'any 2014 a la Universitat de Lleida. Durant aquests anys m'he pogut iniciar en l'estudi de la dinàmica, la cinemàtica, la hidràulica, el càlcul, el disseny paramètric... Assignatures que m'han ajudat a donar resposta a moltes d'aquestes qüestions.

I quan he arribat al final de la meua etapa estudiantil, m'ha tocat escollir el meu treball fi de grau. Des del primer moment vaig tindre clar quin seria el meu àmbit d'investigació i el meu tutor de TFG. La geometria seria se'ns dubte la protagonista del treball. Des d'una visió que compaginaria les vessants artística, funcional i tècnica. Unificant els coneixements adquirits en totes dues carreres.

El tutor del meu TFG volia que fos el professor que em va ensenyar les virtuts del disseny paramètric. El Martí Comellas. Mai abans havia tractat amb software d'aquest tipus i em va obrir els ulls a un sens-fi de possibilitats. Va accedir a portar-me'l i a més a més em va ajudar a ser d'adjudicatari d'una beca BIR (beca d'introducció a la recerca de la UdL). Això m'ha permès dedicar-me intensament al projecte al llarg d'aquest mesos i poder assolir la major part dels objectius fixats inicialment. El seu assessorament i la confiança que m'ha atorgat han estat molt importants per mi. Li agraïxo personalment.

1.2 DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

Antoni Gaudí va ser un reconegut arquitecte català precursor de moltes formes i tècniques constructives. Una d'elles va ser la implementació de superfícies reglades en els seus dissenys. Elements constructius autoportants que es podien materialitzar mitjançant la suma de simples figures rectes, però que acabaven adquirint geometries d'una plasticitat sorprenent. Paraboloides, conoides, hiperboloides ... són alguns exemples.

Aquest projecte intenta redescobrir les bondats de les superfícies reglades i actualitzar-les mitjançant la seva aplicació en un nou disseny. Nous materials, programes de càlcul i diferents mètodes de modelatge seran els que s'utilitzaran en el procés d'estudi i disseny. A més s'introduirà el tema de la plegabilitat en estructures i la diversitat de possibilitats que aquesta genera.

El projecte en particular consistirà en dissenyar una estructura plegable que cobreixi i descobreixi un dels accessos a l'estació de metro de Passeig de Gràcia a Barcelona. En concret, la boca de metro que s'ubica just davant de la casa Batlló, obra d'Antoni Gaudí. Aquest disseny volem que es posi en relació amb l'edifici de l'arquitecte català i que esdevingui un tribut a la seva obra.

1.3 OBJECTIUS

- Recull i anàlisi d'informació relativa a Antoni Gaudí.
- Recull i anàlisi d'informació relativa a superfícies reglades. Aplicacions.
- Recull i anàlisi d'informació relativa a estructures plegables. Aplicacions.
- Estudi de les possibles combinacions entre ambdues. (Maquetació mitjançant papiroflèxia, formats rígids ...)
- Selecció d'una tipologia adequada per al projecte.
- Estudi de l'emplaçament i definició concreta de les preexistències.
- Definició dels requisits de l'estructura. Predimensionat general.
- Intencions de disseny. Idees projectuals plasmades mitjançant esbossos i aquarel·les del lloc.
- Disseny del conjunt mitjançant software de CAD paramètric (CREO).
- Estudi quasi-estàtic del moviment del mecanisme.
- Anàlisi i optimització pel mètode d'elements finits de la resistència estructural.
- Execució de plànols.
- Maquetació d'un prototip a escala reduïda mitjançant la tecnologia de fabricació additiva (impressora 3D).
- Valoració dels resultats.

Aquests van ser els objectius inicials que ens vam marcar de cara a la realització del TFG. El treball diari al llarg d'aquests mesos ha aconseguit complir amb la majoria dels objectius. De la mateixa manera s'han hagut de reorganitzar algun d'ells. L'anàlisi i optimització de la resistència estructural s'ha fet per mitjà de càlculs iteratius implementats en un programa informàtic (OCTAVE). Per altra banda, la maquetació amb tecnologia additiva es va desestimar degut a la complexitat del mecanisme definitiu i per falta de temps. Es tractava d'objectius massa ambiciosos i s'han prioritzat altres tasques en el seu lloc.

2. ESTUDIS PREVIS

2.1 ANTONI GAUDÍ

2.1.1 BIOGRAFIA

Antoni Plàcid Guillem Gaudí i Cornet nasqué el 25 de juny de 1852, cinquè fill del matrimoni entre Francesc Gaudí i Serra i Antònia Cornet i Bertran, una família de calderers. El lloc exacte del naixement és discutit: alguns historiadors asseguren que a Reus, opció probablement més estesa i coneguda, mentre que d'altres aposten pel Mas de la Calderera, propietat de la seva família situada entre Reus i Riudoms.

De petit, fou un nen malaltís. Continus problemes reumàtics el privaren d'assistir a classe regularment i, per tant, de jugar i relacionar-se amb els nens de la seva edat. En conseqüència, passà llargues temporades al mas familiar de Riudoms, on captà la llum mediterrània i les imatges de la natura, considerada la seva gran mestra. A més a més, tot ajudant el pare al taller com a calderer, aprengué les virtuts del treball i la transformació de les superfícies en volums, fet desenvolupà molt la seva imaginació espacial:

“Tinc el do de la percepció espacial perquè sóc fill, nét i renét de calderers. El calderer és l'home que d'una planxa plana ha de fer un volum. Abans de començar ha d'haver vist l'espai.”

Gaudí cursà el batxillerat als Escolapis de Reus. Durant la Revolució Gloriosa de 1868 es traslladà a Barcelona per a estudiar Arquitectura, la seva gran passió. Abans, però, féu un curs d'ingrés preparatori, i quatre més fins l'obtenció del títol universitari. Malgrat ser un mal alumne, Gaudí passava hores a la biblioteca examinant fotografies de monuments orientals i freqüentava classes de filosofia, d'estètica i d'història, així com també concerts, teatre clàssic i modern, lectures poètiques i tertúlies intel·lectuals. Per tal de mantenir-se econòmicament, treballava de delineant



Imatge 1 – Retrat d'Antoni Gaudí

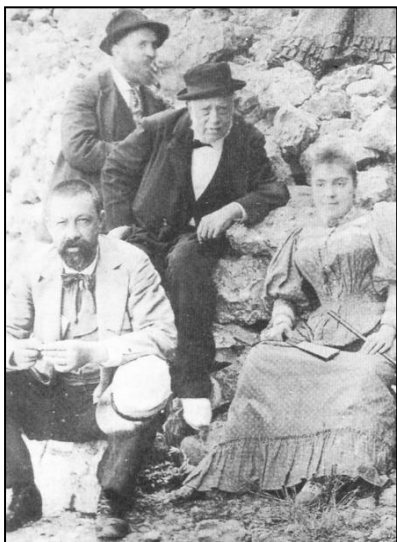
d'enginyers i d'arquitectes, com Josep Fontseré, autor del parc de la Ciutadella; Francisco del Villar, restaurador de Montserrat; o Joan Martorell, arquitecte dels Jesuïtes, les Saleses i altres grans temples. El 1878, en acabar els estudis d'arquitectura, el director de l'escola va comentar: *“avui hem donat el títol d'arquitecte a un boig o a un geni”*.

Els temps en què Gaudí visqué, foren coneguts pel ressorgiment del sentiment de la pàtria catalana i del sorgiment del catalanisme polític. L'arquitecte, profundament catalanista, ingressà en la Associació Catalanista d'Excursions Científiques, que es dedicava a visitar els monuments històrics de Catalunya.

Gaudí fou conscient des de molt jove del seu paper de geni de l'art. Sabia que les seves idees no eren una repetició o la mera continuïtat d'allò que els arquitectes havien fet al llarg dels segles fins aleshores. Malgrat tot, l'aturava haver de ser el primer de la història en posar-les en pràctica. Ell havia estudiat i descobert les lleis geomètriques i constructives de la natura —l'obra mestra del Creador— i volia realitzar el seu art amb els mateixos models. Ell mateix afirmava:

"Originalitat és tornar a l'origen, i l'origen és la natura"

El 1878, conegué Eusebi Güell i Bacigalupi, empresari important i amb gran sensibilitat artística i social, que entengué Gaudí i en va fer-se un dels millors amics i el client



Imatge 2 - Gaudí (al fons), amb el seu pare (centre), la seva neboda Rosa i el doctor Santaló en una visita a Montserrat (1904)

principal al llarg de la vida: les portes de la finca Güell (1884-1887), la casa Güell (1888), els cellers Güell (1895-1897), el xalet del Catllaràs (1905) i les dues obres més creatives de la maduresa de l'artista: el Park Güell (1900-1914) i la cripta de l'església de la colònia Güell (1908-1917).

Després de la mort del seu germà Francesc, la seva germana Rosa i la seva mare, Gaudí va adoptar la seva neboda òrfena Roseta, filla disminuïda psíquica de la seva germana Rosa, així com també es feu càrrec del seu pare Francesc. Va sol·licitar matrimoni a la senyoreta Pepeta Moreu, petició que fou rebutjada. Tot i que altres dones passarien després per la seva vida, Gaudí no es casà mai.

Hi va haver una època en que l'arquitecte tenia fama de dandi, encara que ell sempre es preocupà molt i estudià a fons els problemes de l'obrerisme i, sobre tot, les lamentables condicions de vida dels treballadors. És el moment de la I Internacional, amb la tendència socialista de Marx i l'anarquista de Bakunin (que arrelaria més fortament a Catalunya). Gaudí fou arquitecte de la Cooperativa Mataronense (1874-1885), que propugnava resoldre el conflicte entre capital i treball unint-los en un sol element: l'obrer cooperativista. La Cooperativa Mataronense va ser la primera fàbrica de Catalunya, i una de les primeres del món, propietat dels seus treballadors.

El 1883, als trenta-un anys, Gaudí fou encarregat de continuar les obres de la Sagrada Família, tot just encetades per un altre arquitecte, Francesc de Paula del Villar. Hi

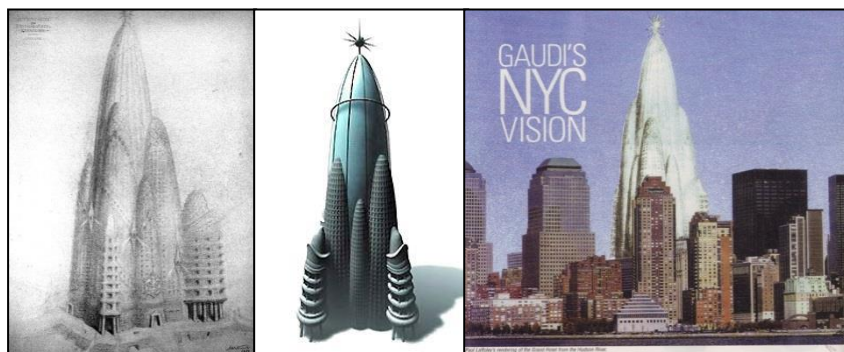
traslladà el seu despatx i es compenetrà amb la finalitat religiosa i artística del gran temple. Durant quaranta-tres anys, fins a la seva mort, Gaudí esmerçaria les energies a desenvolupar en aquest projecte totes les seves idees sobre estructura, forma i simbolisme, fent una síntesi perfecta amb formes racionals extreïdes de la natura.

Gaudí va ser amic d'alguns clergues innovadors de les reformes socials i de la reforma litúrgica, com el poeta mossèn Cinto Verdaguer; Joan Baptista Grau, bisbe d'Astorga, que li encarregà el palau episcopal (1887-1893); Enric d'Ossó, fundador de les Teresianes, que li encarregà el col·legi central (1888-1889); o Pere Campins, bisbe de Mallorca, que li encomanà la restauració de la seu (1903-1914). Especialment, hi destaca l'amistat amb Josep Torras i Bages, bisbe de Vic, ideòleg i animador del moviment cristià de la Renaixença.

Gaudí va fer a la vegada que la Sagrada Família altres encàrrecs, grans i petits, no sols eclesiàstics o per a en Güell, sinó per a altres clients, com El Capricho (1883-1885), la casa Vicens (1883-1888), la casa Calvet (1898-1899) i Bellesguard (1900-1909). El 1904 fou un any significatiu per en Gaudí ja que començà dues de les seves obres més destacades: la casa Batlló i la casa Milà, altrament coneguda com, la Pedrera. En aquesta va tenir problemes amb l'Ajuntament de Barcelona, que va intentar parar les obres varies vegades per incompliment de projecte. Al 1910 el va finalitzar no sense algun que altre ensurt.

I és que Gaudí no va tenir gaires tractes amb els organismes oficials d'aquella època. L'Ajuntament de Barcelona tan sols li va encomanar el disseny de les faroles de la Plaça Reial i de la Plaça del Palau. Només li va atorgar un premi, al millor edifici finalitzat l'any 1900. Precisament al menys extravagant de tots, la Casa Calvet.

El punt àlgid de la fama arribà l'any 1910. Eusebi Güell va promoure una exposició al Grand Palais de París. Part dels plànols i fotografies que es van exposar varen dur-se a Madrid, al Primer Salón d'Arquitectura. Aquest va estar l'any en que els americans van encomanar-li l'hotel per la ciutat de Nova York.



Imatge 3 - Representacions gràfiques de l'hotel que Gaudí va dissenyar per a la ciutat de Nova York i que mai es va arribar a construir

La religiositat de l'arquitecte es va anar intensificant al llarg de la seva vida. Així, a la quaresma del 1894, als quaranta-dos anys, el dejuni de poc li va causar la mort. El 1906, als cinquanta-quatre, es mudà a viure a la casa que executà el seu ajudant, en Berenguer, com a casa mostra del Park Güell, l'actual casa-museu d'Antoni Gaudí. Cada matí baixava caminant a la parròquia de Sant Joan de Gràcia per a participar en l'eucaristia i després continuava fins a la Sagrada Família. Cada tarda, en plegar, assistia a l'Oratori de Sant Felip Neri per a fer les devocions personals i xerrar amb el confessor, el pare Agustí Mas. Amb la convicció que sense sacrifici és impossible fer una obra, es lliurà a una vida de penitència i pobresa voluntària.

Gaudí havia manifestat el desig de morir a l'hospital de beneficència cristiana, recollit com a un pobre més. Déu li va concedir aquest desig. El dilluns 7 de juny de 1926 un tramvia l'atropellà. Al no ser reconegut i anar vestit tan senzillament, els taxistes el confongueren amb un indigent i el portaren a l'hospital de la Santa Creu. Tres dies més tard, envoltat dels seus amics, hi digué les darreres paraules: *"Amen. Déu meu! Déu meu!"*. El funeral va ser una gran manifestació, que acompanyà les despulles des de l'hospital fins a la cripta de la Sagrada Família, on és enterrat.

2.1.2 OBRA

A Barcelona:



Cascada de la Ciutadella
(1875-1885, ajudant Josep Fontserè)

Portes de la Ciutadella
(1876-1877, ajudant Josep Fontserè)



Fanals de la plaça Reial i del Pla del Palau
(1878-1879)

Paviment de l'església de Sant Pacià (1879)





Església dels Jesuïtes
del carrer de Casp
(1882-1889), ajudant
Joan Martorell)

Porta del Drac de la
finca Güell
(1884-1887)



Font d'Hèrcules
(1884-1887)

Casa Vicens
(1883-1888)



Casa Güell
(1886-1889)

Col·legi de les
teresianes
(1888-1889)



Casa Calvet
(1898-1899)

Tanca de la finca
Miralles (1902)



Casa Batlló
(1904-1906)

Bellesguard
(1900-1909)



Escoles Provisionals de
la Sagrada Família
(1909)

La Pedrera
(1906-1912)



Park Güell
(1900-1914)

Sagrada Família
(1883→)



A la resta de Catalunya i Mallorca:



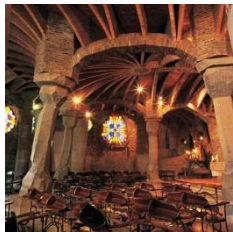
Cooperativa
Mataronense (Mataró,
1883)

Cellers Güell (El
Garraf, 1895-1901)



Jardins de la Font de la
Magnèsia (La Pobla de
Lllet, 1903-1910)

I Misteri de Glòria del
Rosari Monumental de
Montserrat (1900-
1907)



Església de la Colònia
Güell (Santa Coloma
de Cervelló, 1908-
1917)

Restauració de la Seu
de Mallorca (1903-
1914)



Fora de Catalunya:



El Capricho
(Comillas, 1883-1885)

Casa de los Botines
(Lleó, 1891-1892)



Palau Episcopal
d'Astorga
(Astorga, 1889-1893)

Gaudí s'ocupava tant del conjunt de l'edifici com dels detalls de la decoració. Així, va excel·lir com a dissenyador de mobles i d'objectes litúrgics. També ens han quedat una sèrie de dibuixos i obra gràfica:



Imatge 4 - Detalls disseny de mobiliari interior



Imatge 5 - Esboç de projecte de l'església de la Colònia Güell

2.1.3 INTRODUCCIÓ A LA GEOMETRIA GAUDINIANA

La primera geometria és la de les piràmides egípcies; la seva secció és el triangle rectangle de mides 3-4-5 que dóna, sobre la planura del Nil, les verticals. És abstracta perquè només dóna una línia; és esclava dels tres nombres; 3, 4 i 5.

La segona fita és Pitàgores, en que, donat a i b, no són ja dos catets, sinó tots els catets els que verifiquen la llei; són tots els nombres que passen pels catets. El lloc geomètric és el cercle. És sintètic, és geòmetra.

La tercera fita és Newton amb el seu binomi, que dóna no sols el cercle i l'el·lipse, sinó també la hipèrbola i la paràbola. És analític, abstracte.

La quarta fita és l'estudi d'aquestes corbes no com a seccions còniques sinó per a l'estudi de les superfícies enguerxides (Probablement Monge).

(Antoni Gaudí)

Gaudí va ser capaç de desenvolupar la geometria tridimensional combinant al mateix temps quatre elements clau: una extraordinària intel·ligència espacial innata, una contemplació profunda de la realitat, una investigació sobre models tangibles i una visió pragmàtica de les possibilitats constructives i estructurals.

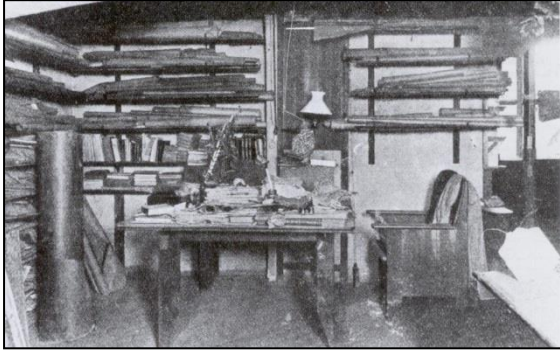
REFERENTS CULTURALS I NATURALS:

Gran part de la geometria inherent a l'obra de Gaudí es troba en els referents naturals i culturals que l'arquitecte va adquirir durant la seva joventut. Per exemple l'observació del paisatge reusenc durant les llargues temporades que passava al mas familiar, els coneixements apresos a la facultat d'arquitectura o les innumbrables excursions per tota Catalunya. Aquest conjunt de vivències el van constituir com un geòmetra excepcional. Influències com ara les roques de Montserrat, les formes dels fruits i els arbres, i la torsió dels troncs i els ossos són algunes de les més reconegudes en l'obra de l'arquitecte català. Gaudí deia:

“Aquest arbre proper al meu obrador: aquest és el meu mestre”

L'arquitecte reconeixia que res era inventat, sinó que tot estava a la natura, esperant que nosaltres obríssim els ulls i ens aprofitéssim de l'excel·lència de l'obra del Senyor, com a ell li agradava dir.

INVESTIGACIÓ EXPERIMENTAL:



Imatge 6 - Taula de treball de Gaudí en el seu obrador de la Sagrada Família

En l'estudi de Gaudí, tant el material bibliogràfic com el gràfic es reduïen a l'imprescindible. En el seu obrador hi havia un taller fotogràfic, un espai per a fer escultures, un magatzem per a guardar-les, una àmplia zona per a confeccionar maquetes de guix, miralls per a assajar visions indirectes, campanes tubulars per a estudiar sonoritats, sostres mòbils per a experimentar la il·luminació i

una infinitat de models dels per a investigar solucions òptimes. Gaudí es va formar a si mateix resolent els seus propis problemes: *“En els llibres rarament es troba el que es busca i, quan es troba, sovint està malament, de manera que al final sempre acaben pensant-se les coses directament”*. Va limitar el seu interès geomètric al necessari, i mai deixava de sorprendre's quan el que trobava era innovador:

“Les meves idees estructurals i estètiques són d'una lògica indisputable. M'ha fet pensar molt que no hagin estat aplicades abans, i que hagi d'ésser jo el primer en fer-ho. Això seria l'única cosa que, en tot cas, em faria dubtar. No obstant això, crec que, convençut del perfeccionament que suposa, tinc el deure aplicar-les”

Cal senyalar que Gaudí utilitzava el terme «indisputable» en el sentit de «indiscutible». Aquesta ferma defensa dels seus resultats és la clau a partir de la qual podem començar a entendre el seu treball a partir de l'any 1883 i el resultat del seu llegat. No obstant això, abans de fer la maqueta a escala (1:10 o 1:25) que havia de concretar qualsevol projecte, Gaudí descartava mil solucions parcials seguint una reflexió metòdica i sistemàtica, aliena a les presses i als compromisos temporals o econòmics.

FORMES POLIGONALS GAUDINIANES

Les formes poligonals planes són omnipresents en l'obra de Gaudí en dos àmbits: com elements constructius (plantes, finestres, separadors, rajoles...) i com generadors de decoració (ceràmica, lletres, trencadís...).



Imatge 7 - Mosaic triangular de parquet (Casa Milà) i mosaic hexagonal de ceràmica (Passeig de Gràcia)

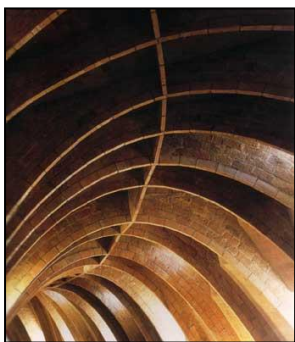
Els polígons plans regulars més usuals en l'obra de Gaudí són els triangles, els quadrats, els pentàgons, els hexàgons, els octògons, els decàgons i els dodecàgons, junt amb les seves variants estrellades. Alguns exemples emblemàtics serien les rajoles quadrades de la Casa Vicens, les

finestres pentagonals del Capricho, les rajoles hexagonals del passeig de Gràcia o les seccions de les columnes de doble gir de la Sagrada Família.

Com a mostra de la creativitat poligonal gaudiniana, podem observar el disseny de les peces de fusta utilitzades per a enrajolar algunes dependències de la Casa Milà. Gaudí va descobrir l'hexàgon regular com reunió de triangles rectangles. Així va obtenir una subdivisió de l'hexàgon en 12 triangles rectangles.

CURVES PLANES GAUDINIANES

Hi ha cinc tipus de corbes amb un protagonisme especial dins l'obra de Gaudí: les catenàries, les espirals, les sinusoidals, les còniques i les arrodonides. A continuació esmentem les característiques i els exemples principals de cadascuna d'elles.



Imatge 8 - Arcs catenaris (a les golfes de la casa Milà)

CATENÀRIA. La corba catenària s'havia estudiat en física i matemàtiques molt abans de que Gaudí l'utilitzés. Es correspon amb la forma d'una cadena que penja lliurement de dos extrems. No obstant, Gaudí va ser el primer a descobrir que la simetrització de la catenària donava lloc a un dels arcs més perfectes: el que s'aguanta a si mateix. Podem trobar arcs catenaris a la Cooperativa Obrera Mataronense, al col·legi de les Teresianes, i a les golfes de la Casa Milà.



Imatge 9 - Espiral (al sostre d'una de les habitacions de la casa Milà)

ESPIRALS. Les formes que adapten els fils al ésser bobinats o rebobinats entorn cilindres o cons. En l'espiral d'Arquímedes, la distància al pal central cilíndric és proporcional a l'angle girat. En la logarítmica, equiangular o logística, les rectes des de l'origen es tallen amb un angle igual. Aquests dos tipus d'espirals són omnipresents en la naturalesa (conquilles de caragol, gira-sols, banyes, cues, etcètera). En l'obra de Gaudí tenen un paper decoratiu important: a la balconada de la Casa Vicens, al drac de la Finca Güell i al mosaic del passeig de Gràcia.



Imatge 10 - Banc sinuós del Parc Güell

SINUSOIDES. Les formes sinusoïdals són pròpies dels moviments serpentejants, de les ombres d'hèlixs espacials, i les trobem en l'obra gaudiniana al respatller del banc del Parc Güell, al mur de la Casa Miralles i, d'una manera sorprenent i magistral, a les Escoles Provisionals de la Sagrada Família i al seu propi obrador.

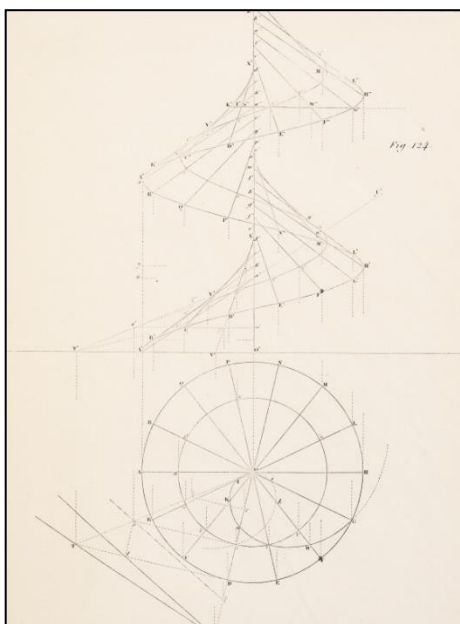
CÒNIQUES. Les circumferències, les el·lipses, les paràboles i les hipèrboles són corbes presents en moltes formes gaudinianes perquè constitueixen seccions principals de les superfícies reglades, les quals són peces clau del repertori geomètric de l'època.

CORBES ARRODONIDES. Són corbes equivalents a un cercle que s'obtenen per deformació contínua d'aquest. En l'obra de Gaudí les trobem en la decoració de portes, sofàs, façanes, balconades, finestres, escales i en les formes exuberants de la Casa Milà.

SUPERFÍCIES REGLADES GAUDINIANES:

Una superfície reglada és la creació d'una superfície generada pel moviment d'una recta, anomenada generatriu, mantenint-se en contacte i al desplaçar-se sobre una corba o vàries, denominades directrius.

Una de les grans aportacions de Gaudí a l'arquitectura moderna ha estat l'ús constructiu de les superfícies reglades. Moltes d'elles contaven amb una història destacada en l'àmbit geomètric, però va ser precisament Gaudí el primer arquitecte que es va adonar del seu interès arquitectònic. Les va descobrir especialment a partir



Imatge 11 - Helicoide representat al tractat

dels estudis de geometria descriptiva del text de C. F. A. Leroy de 1855, successor de Gaspard Monge a l'Escola Politècnica de París, encara que va ser arran de la seva investigació experimental a l'obrador, treballant amb models i maquetes, quan va anar incorporant progressivament als seus projectes tot el repertori reglat.

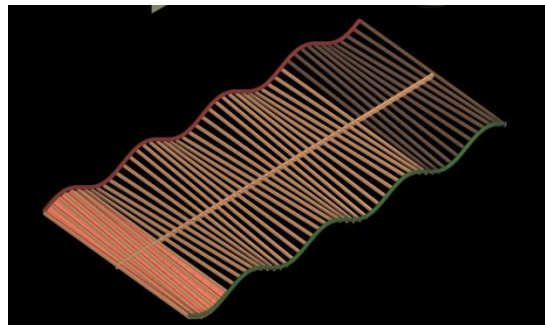
CILINDRES. Els cilindres circulars són superfícies reglades generades per una recta que gira paral·lelament entorn d'un eix. L'ús clàssic de formes cilíndriques el trobem a les primeres obres de Gaudí: a les cobertes dels pavellons de la Finca Güell, a la torre principal de El Capricho, a

les torres del Palau Episcopal d'Astorga o a la Casa dels Botines de Lleó.

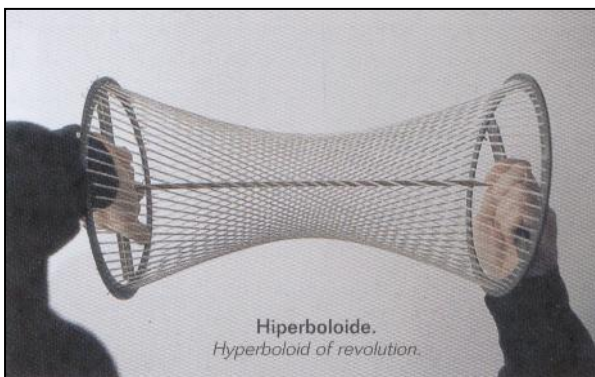
HELICOIDES. Un helicoide és una superfície generada pel moviment d'una recta que es mou paral·lela en un pla i es recolza en una recta perpendicular a aquest i en una hèlix associada a un cilindre perpendicular al pla i que té com eix central la recta fixada. Així, doncs, s'origina al provocar un moviment helicoïdal (rotació entorn a l'eix, composta amb translació de direcció paral·lela a aquest). Per tant, estem davant la típica forma d'una d'escala de caragol que la podem trobar per exemple, a El Capricho i en diversos llocs de les torres de la Sagrada Família.

CONS. Totes les rectes que, al passar per un punt, es recolzen en una corba espacial (que no conté el punt donat) donen lloc a una superfície conoïdal. Quan aquesta corba és una circumferència o una el·lipse, tenim els cons circulars o el·líptics tradicionals. Al Palau Güell trobem formes conoïdals als capitells de les columnes interiors dels menjadors i a les xemeneies del terrat. També al Palau Episcopal d'Astorga hi han torres conoïdals, de formes similars a les de les torres cantoneres de la Casa dels Botines de Lleó.

SUPERFÍCIES CONOIDALS. Aquestes superfícies reglades estan determinades per una recta, un pla perpendicular i una corba en l'espai, i estan formades per totes les rectes que es recolzen en la donada i en els punts corresponents de la corba fixada. Totes aquestes rectes són paral·leles al pla donat. A les Escoles Provisionals de la Sagrada Família i a la coberta del magatzem d'escultures de l'obra de Gaudí podem trobar usos especials d'aquestes superfícies, al considerar corbes sinusoïdals.



Imatge 13 - Representació gràfica d'una superfície conoïdal (coberta de les Escoles Provisionals de la S. F.)



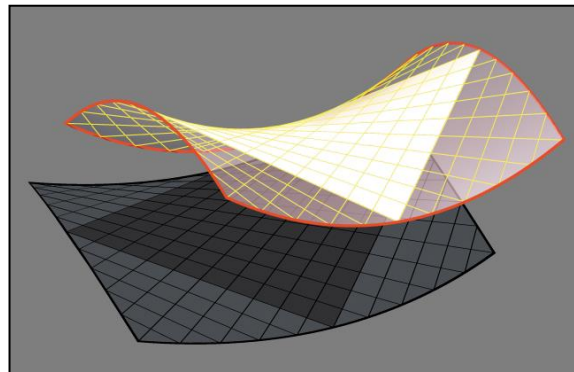
Imatge 12 - Formació d'una hiperboloide (model amb fils elàstics i bases rotatòries)

HIPERBOLOIDES D'UNA FULLA. El cas comú de revolució s'origina a partir del gir d'una hipèrbola entorn de l'eix de simetria que no talla la corba. Aquesta superfície reglada també es pot definir com el conjunt de rectes que es recolzen simultàniament a una terna de rectes que es creuen de dues en dues, sense que cap parella es trobi en el mateix pla. És fàcil fer models amb fils elàstics i bases rotatòries, o una construcció amb guix entre dues circumferències donades, o models amb barres

articulades. Gaudí va incorporar a l'arquitectura el hiperboloide d'una fulla després de descobrir que era una forma òptima com campana i com a col·lector de llum. El va emprar en algunes columnes de l'entrada del Parc Güell, en el Palau Güell i en voltes i finestrals de la Sagrada Família, sempre lligada a la il·luminació del temple.

PARABOLOIDES HIPERBÒLICS. El paraboloid hiperbòlic, una de les superfícies més importants i originals usades per Gaudí, és una superfície reglada formada per rectes que es recolzen en dues rectes que es creuen en l'espai d'una forma ordenada, és a dir, establint una correspondència entre els punts de suport corresponents; per exemple, fent que les rectes generadores siguin totes paral·leles a un pla donat, perpendicular a

una de les rectes directrius. La primera obra en la que Gaudí va utilitzar la forma del paraboloid hiperbòlic va ser, l'any 1884, la glorieta del camp de les Figueres de la Finca Güell, a Els Corts de Sarrià (Bassegoda, 1989). Ara bé, va ser dins l'obra de la Sagrada Família on els paraboloides hiperbòlics van trobar la seva culminació. Un dels primers exemples del temple el trobem als



Representació gràfica d'un paraboloid hiperbòlic

finestrals laterals, on els paraboloides hiperbòlics s'acoblen a les complexes formes dels hiperboloides d'una fulla presents entorn el centre el·líptic. Un segon cas el conformen les bases de les grans columnes, que creen una transició suau entre el terra pla i el principi de les columnes, amb parelles de paraboloides de 16 centímetres simetritzats. La culminació de l'ús d'aquesta superfície reglada es troba en la coberta superior de les naus i les sagristies, on les dimensions són majors, i també en els campanars i en el cimbori, on aquestes superfícies, que exteriorment mostren la part còncava, arriben a una gran altura.

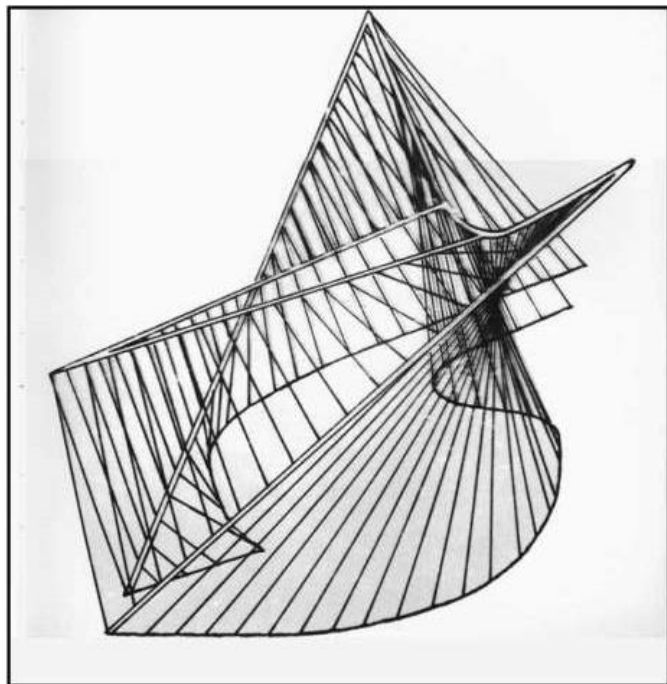
2.2 PLEGABILITAT I SUPERFÍCIES REGLADES

2.2.1 REFERENTS EXTERNS

Un vegada definides les superfícies reglades i la seva generació a partir de rectes toca tornar als orígens. Si deixem de mirar les superfícies com elements continus i llisos, i enlloc d'això visualitzem i emfatitzem les seves rectes generatrius, assolim un altre tipus d'entitats. Ara la importància recau sobre l'estructura interna de la geometria i no sobre el seu acabat superficial. La percepció es diferent.



Imatge 15 - Torre de control de l'aeroport de Benidorm amb un exoesquelet amb estructura d'hiperboloide



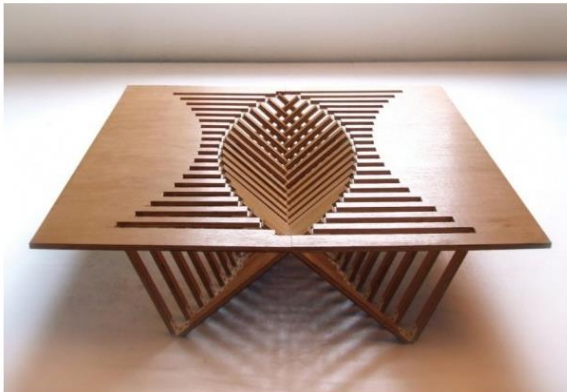
Imatge 14 - Esbós de l'arquitecte suís Le Corbusier per al projecte del Pavelló Phillips, modelat íntegrament amb paraboloides hiperbòlics



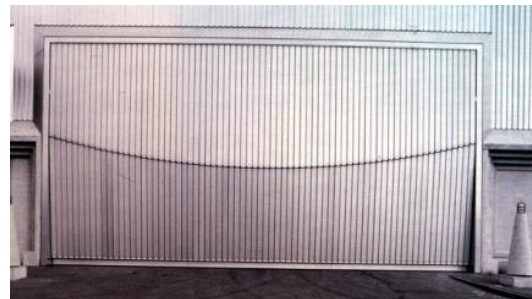
Imatge 16 - Coberta de l'arquitecte Santiago Calatrava per una bodega de la Rioja utilitzant el sinusoide

Alguns arquitectes i dissenyadors han anat més enllà en el treball amb les superfícies reglades i han introduït el tema de la mobilitat. Si les corbes directrius sobre les que es recolzen les generatrius (circumferències, sinusoides, rectes...) tenen algun tipus de moviment controlat, es poden crear conjunts molt més complexos i alhora sorprenents.

Això desemboca en el tema de la plegabilitat, que no deixa de ser un moviment de vaivé entre dos posicions d'un mecanisme. Les primeres civilitzacions orientals que van descobrir la papiroflèxia ja treballaven amb aquests conceptes. Convertir un element pla i simple en una forma en tridimensional. Des de llavors hi han hagut molts geomètres que al llarg de la història han treballat amb geometries plegables, i s'ha recolzat sobre superfícies reglades per a conferir més resistència a les seves obres.



Imatge 18 - Taula plegable. Dissenyador desconegut



Imatge 17 - Porta d'accés per a vehicles a la fàbrica Ernsting. Arquitecte Calatrava

2.2.2 ESTUDI PRÀCTIC

A continuació mostrem l'estudi pràctic que hem realitzat sobre una situació geomètrica concreta. Un mecanisme d'obertura triarticulat. L'objectiu d'aquest estudi és e'de començar a tantejar possibles geometries d'implantació per al nostre disseny.

Partint d'una planxa plana, dividim tot l'ample amb talls paral·lels equidistants. Sobre cadascuna de les tires resultants col·loquem en un extrem un punt d'articulació fixe (A) i en l'altre extrem una articulació desplaçable horitzontalment (C). En un punt intermedi entre totes dues hi col·loquem una tercera articulació (B) a mode d'articulació lliure.

Repetim aquest experiment 4 vegades per a 4 casos concrets diferents. Tots ells compleixen l'estructura comentada anteriorment. La diferència recau en la definició de les posicions dels diferents punts A, B i C sobre el pla:

CAS D'ANÀLISI nº 1 :

El cas més simple. La posició "y" per als punts d'articulació A de cada tira és la mateixa. Això significa que la generatriu dels punts A és una recta perpendicular a totes les tires. El mateix passa per les articulacions B i C. (veure les línies discontinues sobre les fotografies següents). De tal forma que la geometria resultant un cop activat el mecanisme és de 2 plans articulats.

CAS D'ANÀLISI nº 2 :

La posició "y" per als punts d'articulació A de cada tira és la mateixa. Això significa que la generatriu dels punts A és una recta perpendicular a totes les tires. El mateix passa per les articulacions C. No obstant, la generatriu que defineix els punts d'articulació B sobre el pla és un arc de circumferència. Aquest exemple correspon a la imatge 17 i genera un parell de superfícies reglades amb la mateixa concavitat.

CAS D'ANÀLISI nº 3 :

La posició "y" dels punts d'articulació A i dels punts articulats B venen definits per dos arcs de circumferència. La posició "y" per als punts d'articulació mòbil horitzontal C de cada tira és la mateixa. Això significa que la generatriu dels punts C és una recta. La volumetria resultant és similar a la del cas d'anàlisi nº 2 però en aquest cas més pronunciada.

CAS D'ANÀLISI nº 4 :

El cas més complex. Les posicions "y" per als punts d'articulació A i C venen definits per dos arcs de circumferència enfrontats. La generació dels punts ròtula B està lligada a una corba poligonal de grau 3 amb un punt d'inflexió central, un màxim i un mínim relatiu a cada costat. Les superfícies generades canvien de concavitat al punt mig de la volumetria.

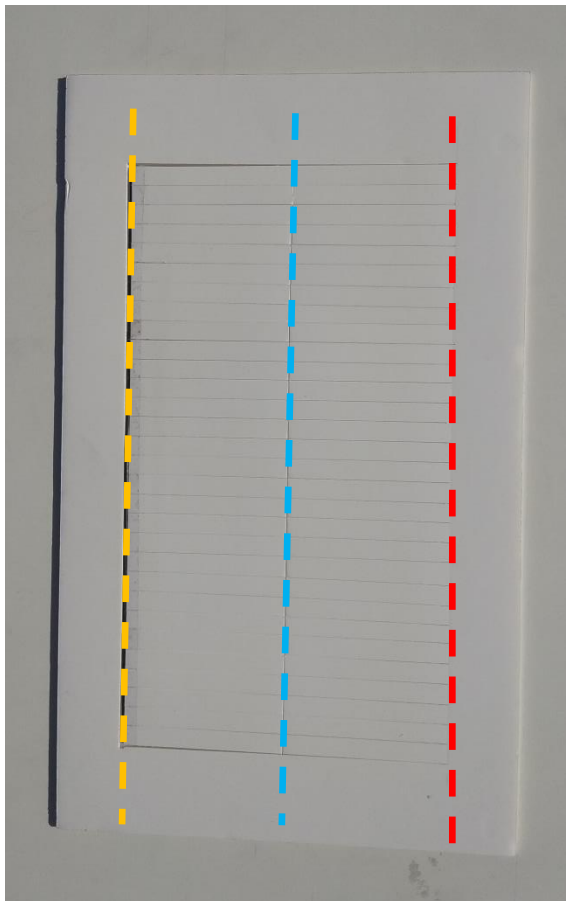
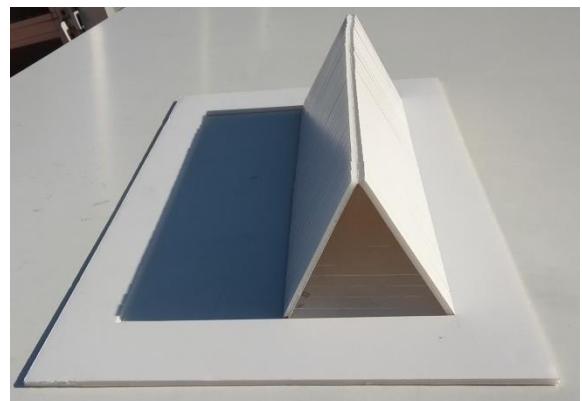
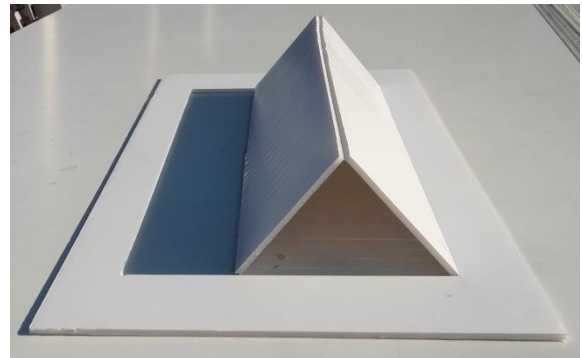
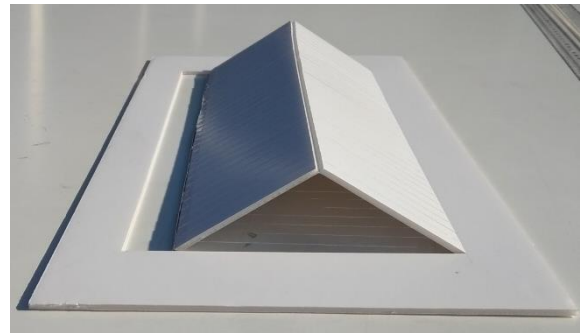
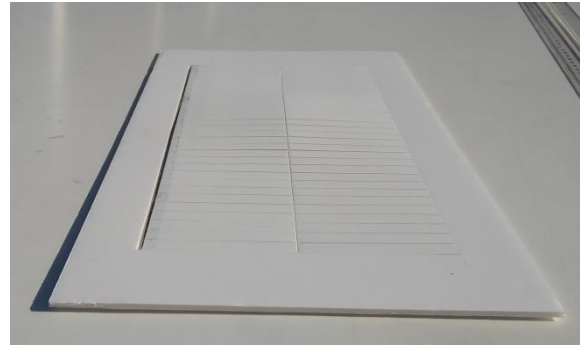
CAS D'ANÀLISI:

1

Generatriu articulació fixa: RECTA

Generatriu articulació corredera: RECTA

Generatriu articulació central: RECTA



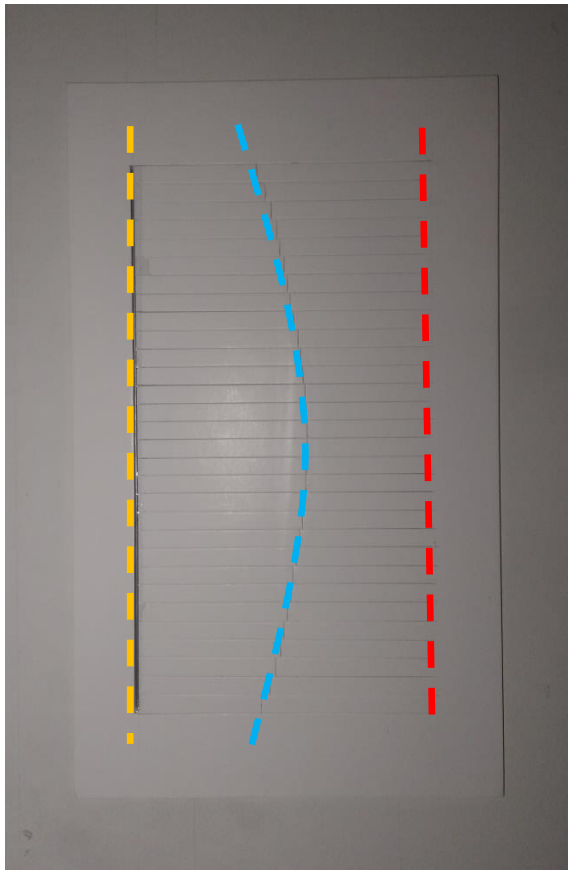
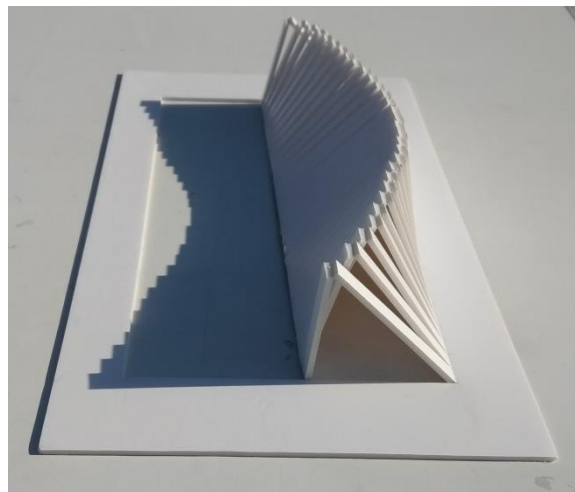
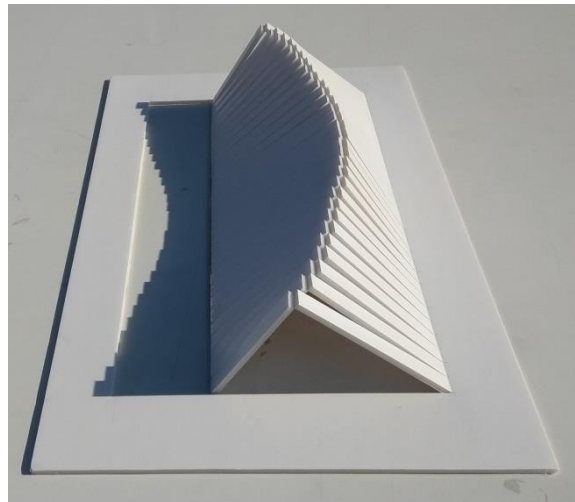
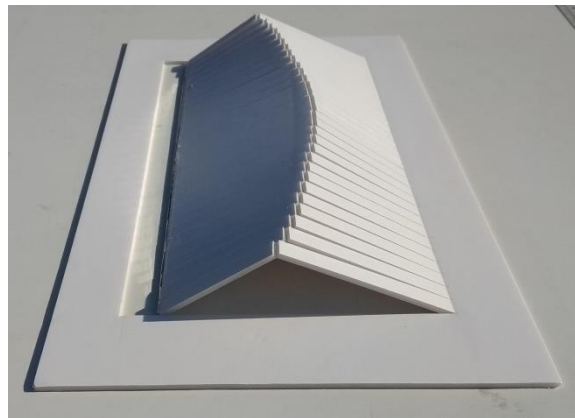
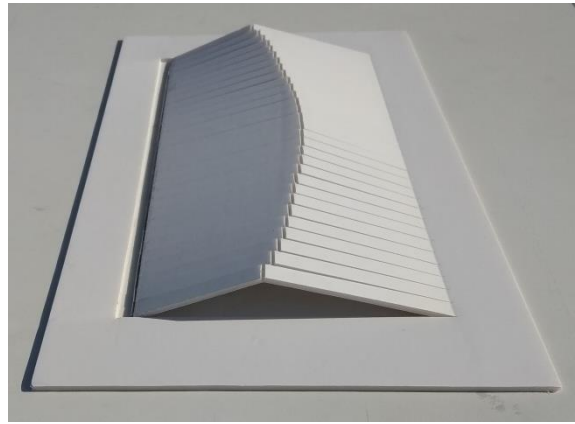
CAS D'ANÀLISI:

2

Generatriu articulació fixa: RECTA

Generatriu articulació corredera: RECTA

Generatriu articulació central: CORBA



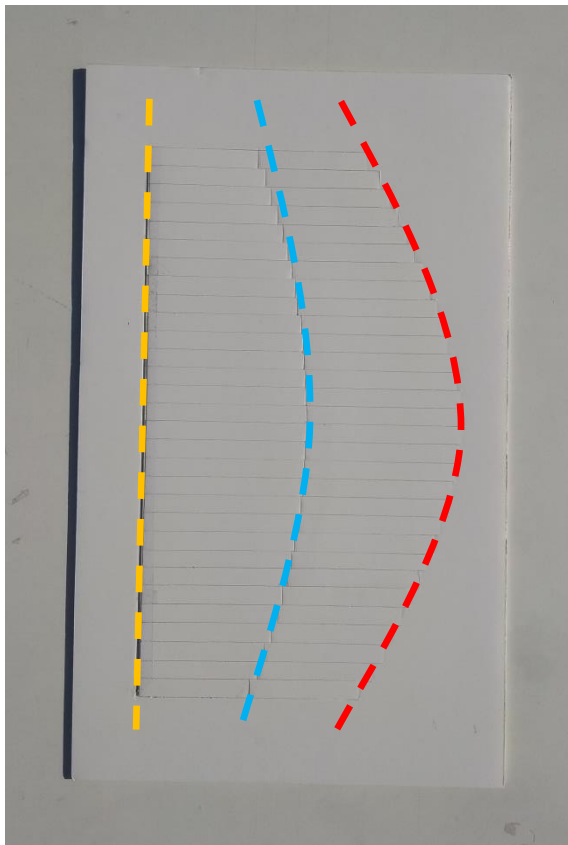
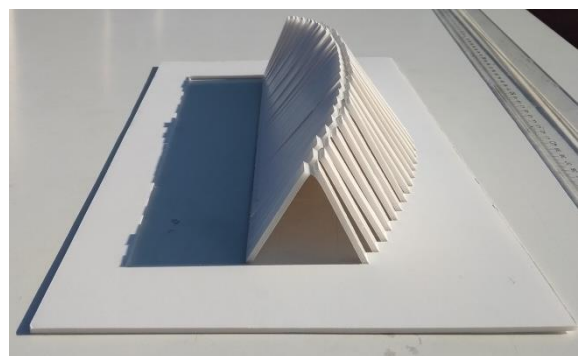
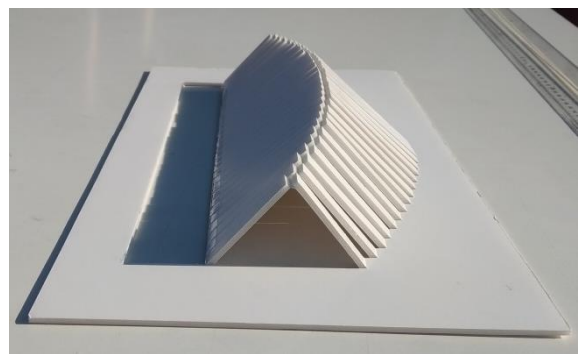
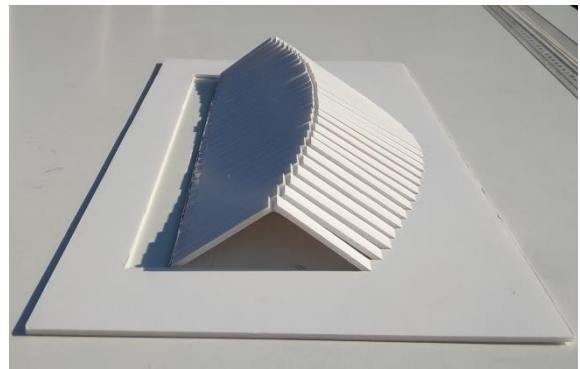
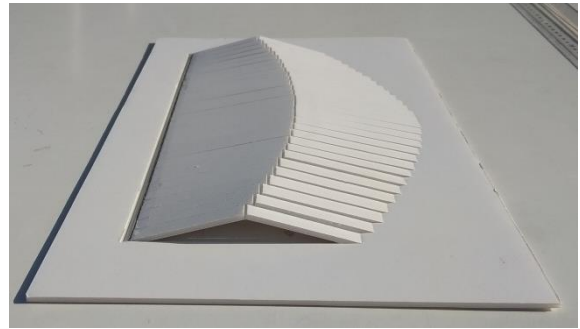
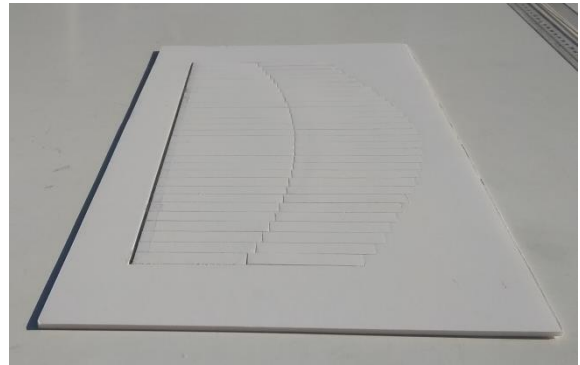
CAS D'ANÀLISI:

3

Generatriu articulació fixa: CORBA

Generatriu articulació corredera: RECTA

Generatriu articulació central: CORBA



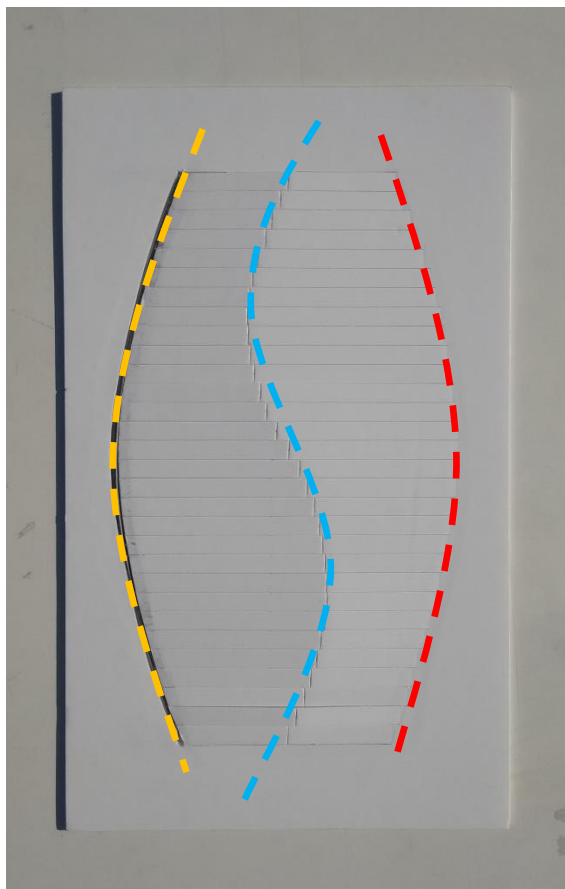
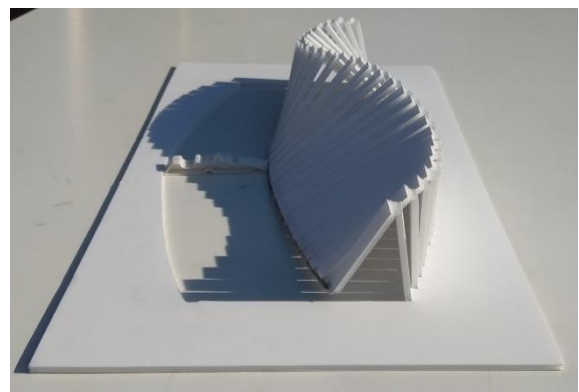
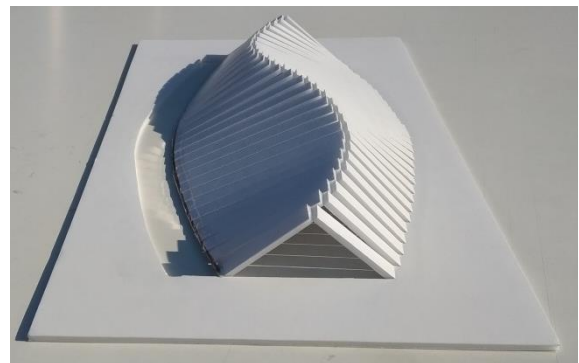
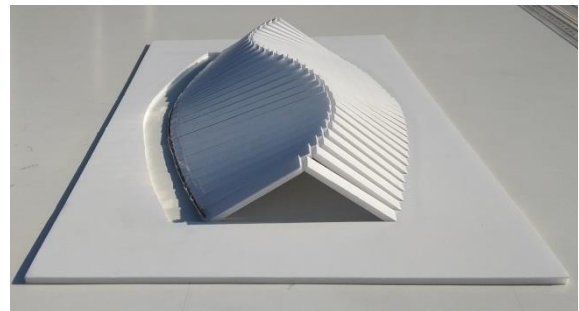
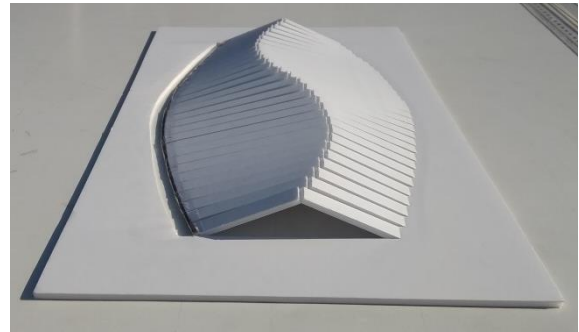
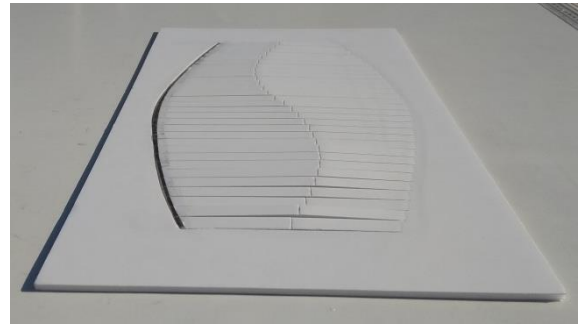
CAS D'ANÀLISI:

4

Generatriu articulació fixa: CORBA

Generatriu articulació corredera: CORBA

Generatriu articulació central: CORBA



3. INTENCIONS DE DISSENY

3.1 IDEA PROJECTUAL

3.1.1 REFERENTS

La idea inicial del projecte fou la de generar un mecanisme que rendís tribut a l'obra de l'arquitecte Antoni Gaudí. Generar una estructura protagonitzada per superfícies reglades, tan pròpies de la seva obra, i que a més gaudissin d'algun moviment com en els exemples mostrats anteriorment.

Se'ns va ocórrer dissenyar una boca de metro. Des de l'època de l'art Nouveau francès passant pel constructivisme soviètic, les pèrgoles de metro i bus han servit al llarg de l'últim segle com a manifest per a noves formes i tècniques constructives. La seva poca exigència funcional - no requereixen una envelopant totalment impermeable ni protecció tèrmica ni lumínica - les fa idònies per a la investigació formal.



Imatge 20 - Boca de metro Porte Dauphine a París, Hector Guimard

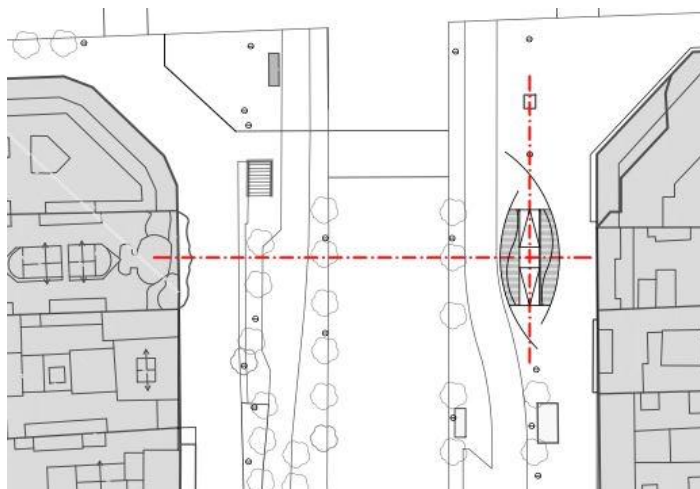


Imatge 19 - Parada de bus a Kazajistan, artista desconegut



Imatge 21 - Boca de metro a Bibao, Norman Foster

3.1.2 UBICACIÓ



Imatge 23 - Ubicació de la boca de metro



Imatge 23 - Aspecte actual de la boca de metro

Vam trobar oportú que el projecte es relacionés amb una de les obres que Antoni Gaudí té distribuïdes per la ciutat de Barcelona. Que es generés una connexió visual entre l'edifici històric i el nou tribut a l'arquitecte. I vam acabar ubicant la boca de metro a la parada Passeig de Gràcia de la via que porta el mateix nom, just davant de la casa Batlló.

Aquest punt de la xarxa de transports metropolitans de Barcelona és molt significatiu. La parada Passeig de Gràcia és una estació intermodal soterrada que connecta 3 línies de metro -L3, L4 i L5- amb una de les artèries de la ciutat a nivell rodat, el passeig de Gràcia. Al llarg dels últims

anys s'han fet diverses propostes de remodelació de l'estació i de la interconnexió entre parades. Nosaltres voldríem sumar-nos a aquesta millora de la infraestructura encarregant-nos del disseny d'una de les seva entrades peatonals.

3.1.3 SIMBOLISME

La casa Batlló es caracteritza per tindre una de les façanes més impressionants de l'arquitectura moderna. La simbologia que amaga fa referència a la llegenda de Sant Jordi, patró de Catalunya. En ella es pot observar la torre, que representa la llança de Sant Jordi, els balcons, que simbolitzen els vilatans del poble, l'última finestra com a representació de la princesa, i la coberta, que clarament evoca el relleu i les textura del drac.



Imatge 24 - Esbós descriptiu de la idea projectual: TRIBUT A L'OBRA DE L'ARQUITECTE ANTONI GAUDI. Relació visual i formal entre la boca de metro i la coberta de la casa Batlló.

És aquesta part de l'edifici, l'al·lusió al drac de la llegenda de Sant Jordi de la coberta, el punt més significatiu de l'obra i en el que ens hem inspirat pel disseny de la boca de metro.



Imatge 25 - Coberta de la casa Batlló de Barcelona, arquitecte Antoni Gaudí.

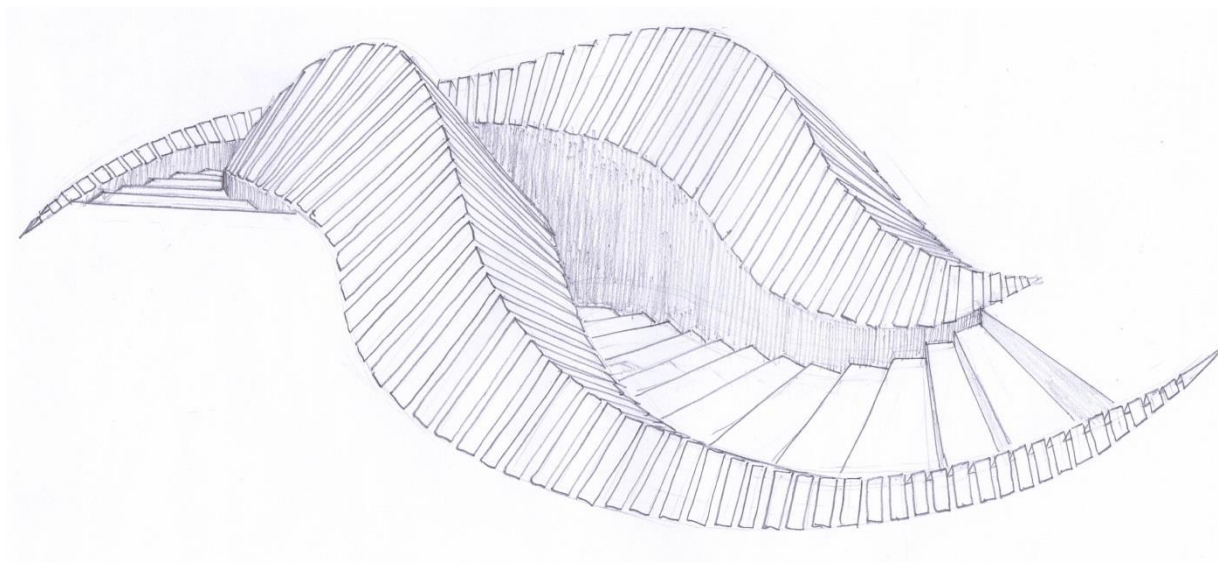
De la mateixa forma que l'obra de Gaudí utilitza unes teules romboïdals per a simular les escames del drac, nosaltres implementarem unes barres diafragmàtiques articulades entre si que evocaran les costelles de l'animal. A més a més, introduïrem un moviment relatiu entre elles –obertura i tancament de la boca de metro- que simularà la respiració del drac. Igual que passa amb el carener de la coberta, el nostre disseny també incorporarà un perfil sinusoidal al límit superior per a donar la imatge de columna vertebral.

L'esbós adjunt mostra clarament les intencions de disseny del projecte. Des de l'altra banda del passeig s'observaran les dues obres en contraposició, una davant e l'altra. El vianant clarament entendrà la relació formal existent entre elles i el tribut que ofereix la ciutat al seu gran arquitecte. Una connexió entre diferents èpoques històriques i diferents mètodes constructius amb la simbologia com a nexa d'unió.

3.1.4 OPERATIVITAT

L'operativitat del disseny serà la següent. L'estructura de barres metàl·liques cobrirà per complet les escales d'accés al metro en **estat de repòs**. Quan el servei no estigui obert al públic desapareixeran les escales i l'àmbit del projecte esdevindrà un pla continu enrasat amb el paviment dels voltants. Els vianants podran caminar per sobre de l'estructura sense cap problema com si aquesta no existís. D'aquesta forma, es soluciona un dels principals problemes amb les entrades de metro de les grans ciutats en períodes d'inactivitat. L'acumulació de brossa a les escales i l'ocupació de gran part de la via pública.

Quan el servei de Metro obri de nou les portes a la ciutadania, s'activarà el mecanisme que obrirà una gruta longitudinal al terra pel mig de l'estructura i farà aparèixer el descens de les escales. A elles es podrà accedir per dos costats oposats. Quan l'estructura arribi a l'**estat d'obertura** nominal, aquesta haurà adquirit la forma de dos dracs cap-i-cuats que custodien a banda i banda l'accés a les entranyes de la ciutat.



Imatge 26 - Esbós descriptiu de la idea projectual: Dos dracs cap i cuats que custodien l'entrada a les entranyes de la ciutat

$$P + 2 \cdot CP = 62 \sim 63 \text{ mm}$$

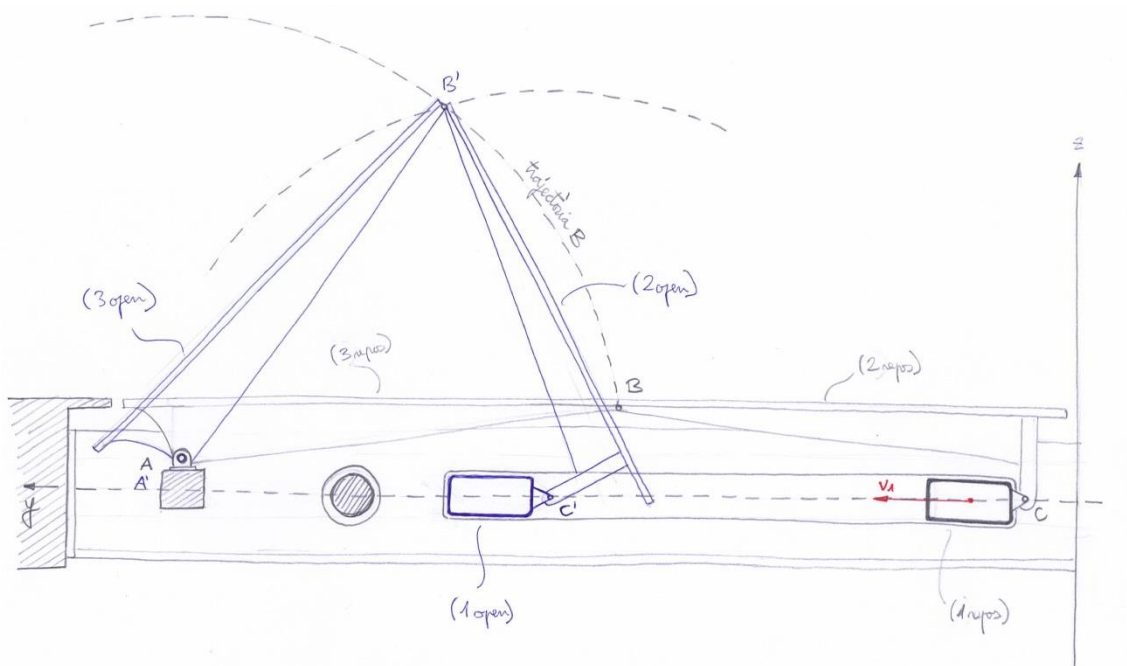
on... P = petjada (projecció horitzontal del graó)

CP = contrapetjada (projecció vertical del graó)

Si agafem els valors de **P=230 mm** i **CP = 200 mm** la fórmula es compleix.

El temps d'obertura que es preveu no ha de ser ràpid. L'obertura i el tancament del mecanisme ha d'esdevenir un espectacle visual per si sol. Ha de mostrar la variabilitat i riquesa de la geometria implicada en el disseny. Per tal cosa, en tots els càlculs dinàmics i cinemàtics relatius a l'obertura es no es tindran en compte ni acceleracions ni inèrcies ni les forces addicionals que comporten. Es partirà sempre de situacions d'equilibri estàtic.

3.2.2 METODE D'OBERTURA



Imatge 28 - Anàlisi geomètric del mètode d'obertura dels braços de l'estructura

L'anàlisi geomètric superior ens mostra el sistema d'obertura dels braços que volem implementar en el disseny de la boca de metro. Al realitzar les maquetes plegables d'estudi, ens vam cerciorar de les incompatibilitats en l'accionament del mecanisme. Quan els punts A, B i C estan alineats apareix la situació de punt mort. Una força horitzontal en C no genera cap tipus de moviment en l'estructura. Les forces internes i externes es contraresten anul·lant el desplaçament de C. Millorant aquesta primera versió, es va arribar a la solució del **pòrtic triarticulat**.

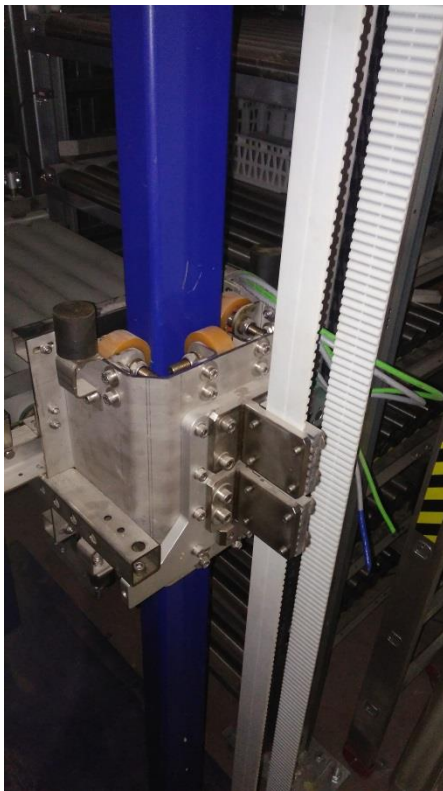
En aquest cas, les posicions relatives de A i de C estan en un nivell inferior a la posició de B en repòs. Això permet que quan C es comença a desplaçar horitzontalment s'iniciï el moviment de tota l'estructura. Com més distància existeixi entre la posició "z" de les articulacions A i C i el pla superior, menys força es requerirà per accionar el mecanisme.

Per altra banda, la geometria tipus pòrtic dels braços permet mantenir la planeïtat de l'estructura en el seu límit superior quan aquesta roman en repòs, complint d'aquesta forma amb un dels requisits inicials del projecte.

Es planteja una estructura simètrica amb braços en ambdós costats que protegeixin l'accés a les escales per la part central. Quan els braços estiguin en posició oberta esdevindran ampits/baranes de seguretat amb una alçada mínima de 1100 mm (normativa CTE).

3.2.3 TRANSMISSIÓ

Un cop tenim fixades les característiques dels moviments de l'estructura es passa a la determinació del sistema d'accionament i transmissió dels mecanisme.



Imatge 29 - Referent industrial del sistema d'obertura de les portes d'un ascensor

Es necessita 2 barres que recullin totes les articulacions C de cada meitat de l'estructura i les desplacin de forma síncrona i simètrica l'una amb l'altra en horitzontal. Un cop s'arribin al recorregut màxim, aquestes barres han de ser capaces de quedar fixades fins al moment del tancament en que han de realitzar el mateix moviment en sentit contrari fins descansar en la posició de repòs.

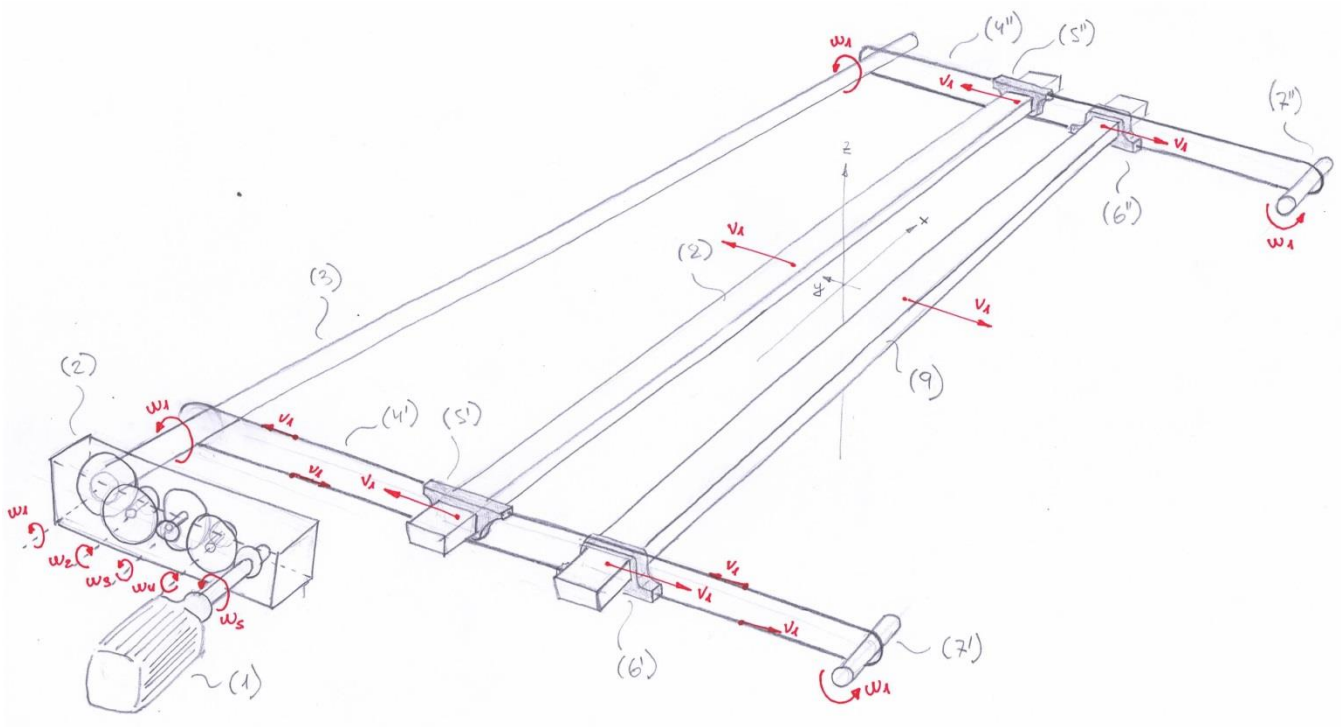
S'ha desitjat que la transmissió per a aquest mecanisme particular pogués ser accionada per un únic motor elèctric. Això facilitaria la sincronització de tots els elements mòbils i permetria simplificar el conjunt.

El referent en el que ens hem fixat per a la selecció de la transmissió és l'obertura de les portes dels ascensors. Amb una única corretja i un motor amb inversió de gir son capaços de descriure el moviment que estem buscant. Per aplicar-lo a gran

escala hem necessitat introduir un reductor, arbres de transmissió i 2 corretges/cadenes, una a cada punta del mecanisme. Les correderes agafen la secció rectangular que els ajudarà a combatre els esforços majoritaris en la direcció horitzontal.

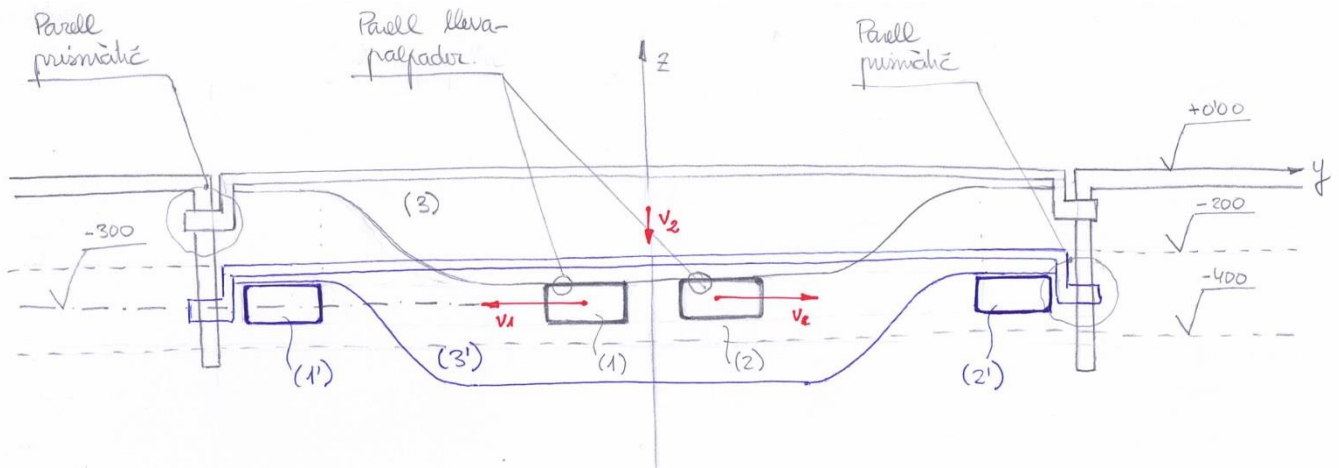
En l'esquema de funcionament adjunt podem contemplar les següents parts:

1. Motor amb capacitat d'inversió de gir.
2. Reductor de velocitat.
3. Arbre de transmissió longitudinal
4. Corretges o cadenes (connexió síncrona).
5. Elements de fixació de les corretges/cadenes a les correderes. Connexió superior.
6. Elements de fixació de les corretges/cadenes a les correderes. Connexió inferior.
7. Arbres de transmissió o rodes dentades amb caràcter mòbil per a la facilitació del desmuntat i tensat de les corretges/cadenes.
8. Corredera est.
9. Corredera oest.



Imatge 30 - Esquema de funcionament de la transmissió i l'accionament del mecanisme

La corredera actuarà de palpador amb el seu moviment horitzontal, i sobre seu descansarà el graó que funcionarà com a lleva. Quan les correderes estiguin en posició de repòs (al centre), el graó pujarà i romandrà enrasat amb el paviment exterior. Quan s'accioni el mecanisme i les correderes descansin als extrems laterals, el graó descenderà i es posicionarà a $z = -200$ mm, esdevenint el primer graó de les escales.



Imatge 32 - Mecanisme lleva-palpador aplicat al primer graó de l'escala

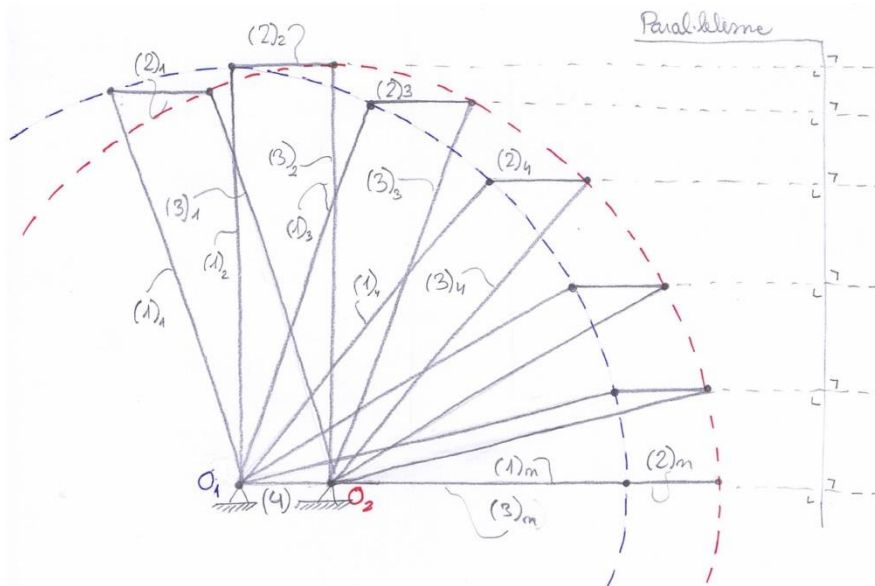
Tot aquest sistema s'acompanyarà de guies laterals per fixar el moviment vertical del graó i de rodetes en tots els contactes lliscant per evitar el desgast dels elements principals.

3.2.4.2 BUIITS ALS CAPÇALS

A l'hora de passar de la idea formal (imatge 26) a la realitat funcional de l'estructura, ens donem compte de que els diafragmes/braços no poden arribar a dimensions molts reduïdes perquè impossibiliten l'obertura del mecanisme. Així doncs, es formen als capçals de l'estructura espais en forma triangular de caiguda lliure.

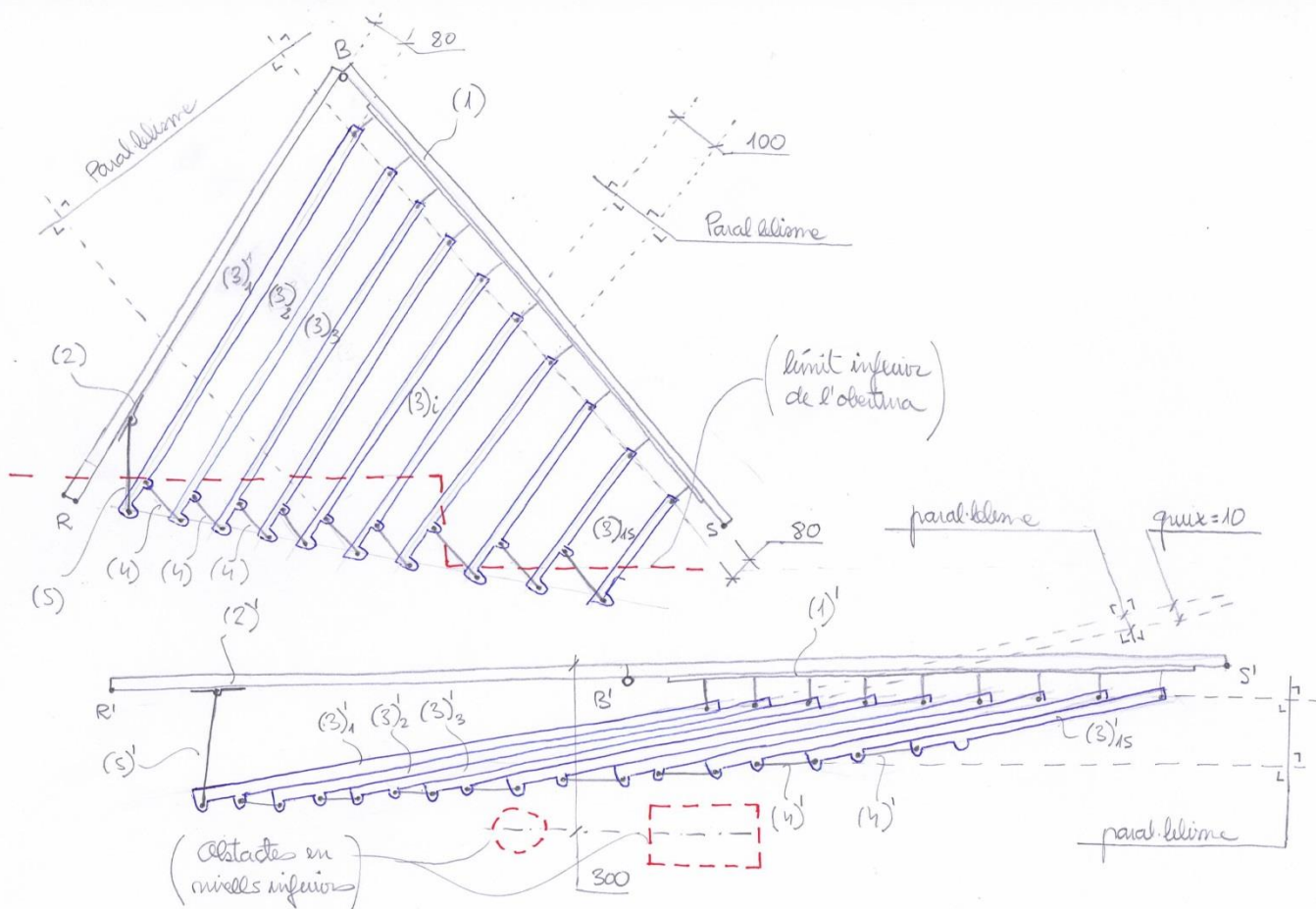
S'ha de buscar una solució que segueixi la mateixa lògica plegable aplicada a tot el disseny. Que quan l'estructura estigui en posició de repòs no hi hagi cap element que sobresurti del pla del terra. Després de provar algunes solucions poc satisfactòries, vam decidir implementar un concepte après a papiroflèxia. La deformació dels paral·lelograms.

Quan un paral·lelogram (quadrilàter de costats iguals 2 a 2) el converteixes en un mecanisme 4R, aquest pot assolir la planeïtat absoluta quan tots els costats són paral·lels entre si. És a dir, si immobilitzes 2 vèrtexs a terra i acciones el moviment entre barres articulades, pots generar tot un ventall d'àrees molt ampli, que es precisament el que necessitem.



Imatge 33 - Mecanisme 4R aplicat a un paral·lelogram

Així doncs, quan l'estructura estigui en fase de repòs, el "mecanisme reixa" ocupará el mínim espai possible (no es pot arribar a l'ocupació 0 degut al gruix de les barres) sense interferir amb els elements inferiors com els arbres de transmissió o les correderes. Per altra banda, quan els braços estiguin oberts, les barres de la reixa es separaran cobrint tota la superfície buida. L'ample de separació màxim entre barres es fixa en 100 mm (normativa CTE).



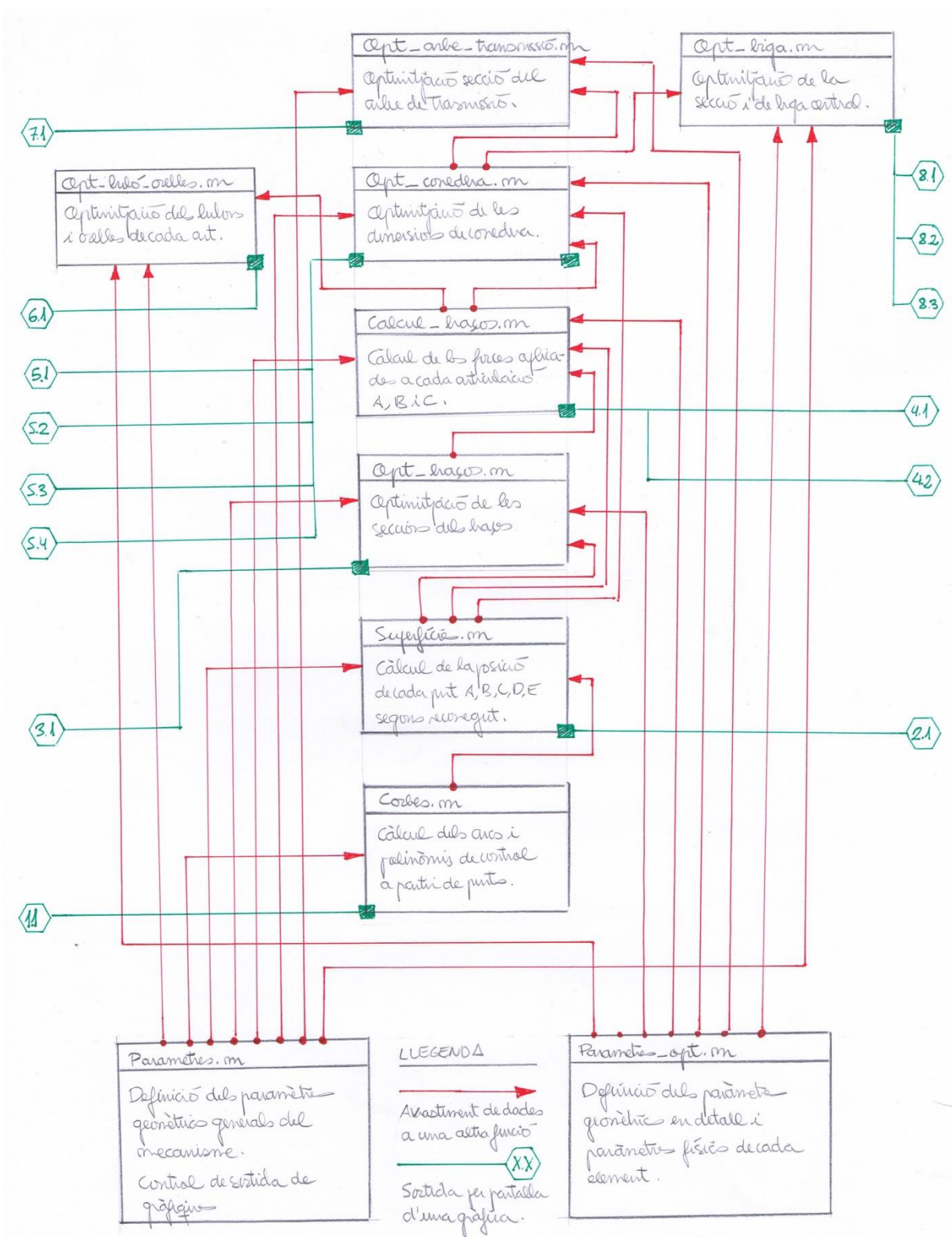
Imatge 34 - Disseny de la reixa de protecció dels capçals de l'estructura

4. CÀLCULS

Un cop decidits el disseny general i els mecanismes de l'estructura mòbil arriba l'hora de començar a calcular i definir el projecte. Aquesta part del treball l'hem pogut realitzar gràcies als coneixements tècnics adquirits a les assignatures d'estructures i càlcul i disseny de màquines.

A més a més hem volgut aplicar el mètode d'optimització impartit a l'assignatura d'enginyeria de fluids. En aquest tipus de resolució de problemes s'utilitza un programa informàtic de càlcul -Matlab/Octave- que permet realitzar iteracions en bucle i condicionants sobre processos de càlcul. Aquests programes també disposen d'una bona representació gràfica que ajuda a entendre les variables de sortida (OUTPUTS).

A partir d'unes variables d'entrada (INPUTS) organitzades en les funcions **"parametres.m"** i **"parametres_opt.m"** es connecten els càlculs de tots els elements importants del disseny. Les variables de sortida d'algunes funcions (OUTPUTS) serveixen com a inputs d'altres funcions, generant així una gran malla de càlculs interconnectats entre si (A la següent pàgina es pot apreciar l'esquema relacional de funcions). Aquesta automatització del procés de càlcul i optimització del disseny permet fer modificacions a posteriori sense haver de refer tot el càlcul.



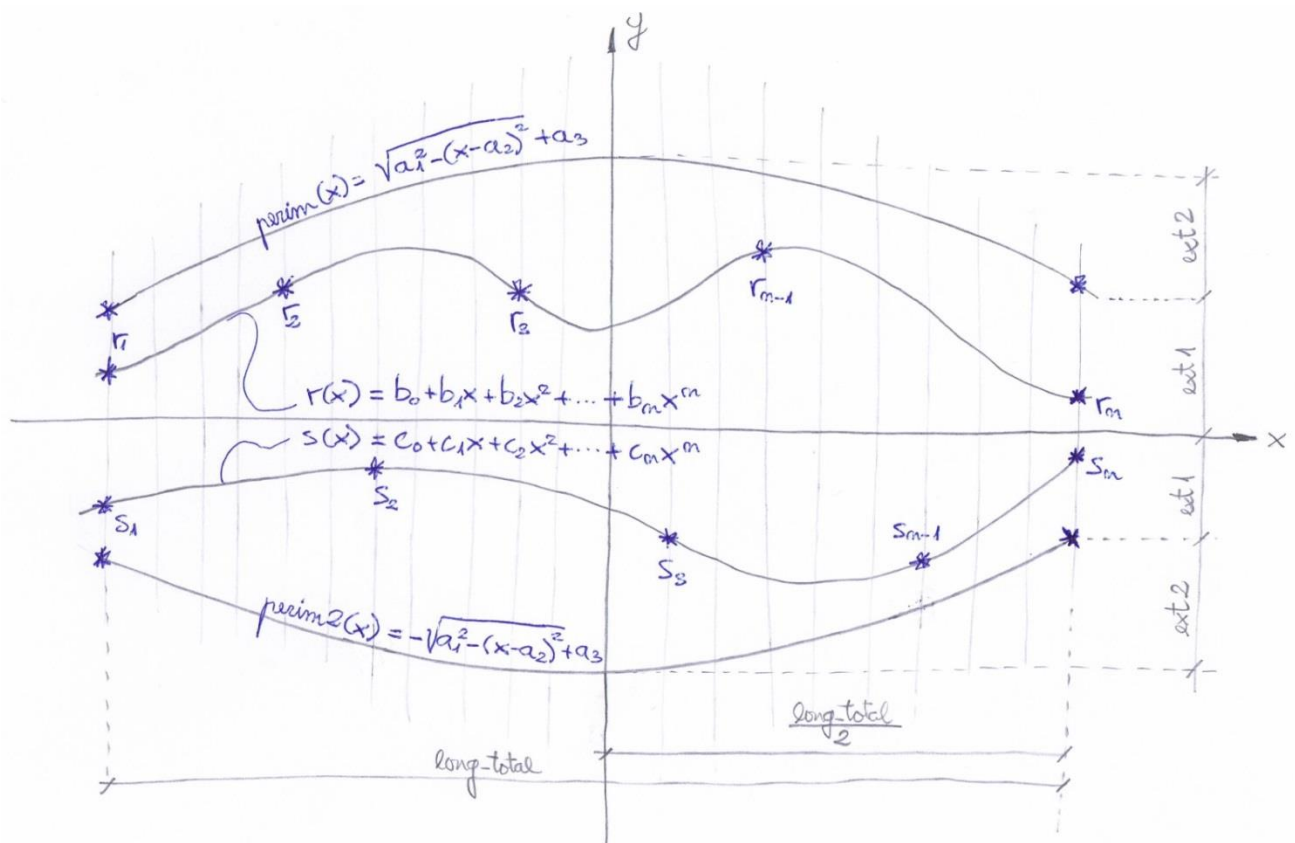
Imatge 35 - Càlcul i optimització automatitzats. Esquema relacional de funcions Matlab/Octave

4.1 DEFINICIÓ DE SUPERFÍCIES

4.1.1 CALCUL DE CORBES SOBRE EL PLA

La primera funció que es genera després de la definició dels paràmetres d'entrada es la funció “corbes.m”. En ella el que es pretén és definir les funcions de les corbes planes que recullen tots els punts d'articulació del mecanisme.

Les posicions de les articulacions fixes del perímetre estan definides per dos arcs de circumferència simètrics –perim(x) i perim2(x)-. Mentre que les articulacions mòbils que uneixen els dos braços queden definides per una corba polinòmica –r(x) i s(x)-.



Imatge 36 - Corbes definidores de la posició de les articulacions A i B del mecanisme

DEFINICIÓ DE LES CORBES POLINÒMIQUES:

A partir d'uns punts de control de cada corba ($r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ i $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) busquem un polinomi de grau $n-1$ (quantitat de punts menys 1) que interpoli amb tots ells. El polinomi serà de la forma...

$$P_n(x_i) = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n = y_i$$

*Punts de control de la corba R,
definitòria de les articulacions mòbils en
posició tancada. Costat OEST*

$$R = (\quad r_{1x}, r_{1y};$$

$$r_{2x}, r_{2y};$$

$$r_{3x}, r_{3y};$$

$$\dots, \dots;$$

$$r_{nx}, r_{ny})$$

*Punts de control de la corba S,
definitòria de les articulacions mòbils en
posició tancada. Costat EST*

$$S = (\quad s_{1x}, s_{1y};$$

$$s_{2x}, s_{2y};$$

$$s_{3x}, s_{3y};$$

$$\dots, \dots;$$

$$s_{nx}, s_{ny})$$

Una vegada tenim controlades les coordenades de cada punt i la tipologia d'equació polinomial, es genera un sistema compatible determinat. En aquest cas agafem com exemple els punts de control de la corba R. El mateix procés es seguirà per la definició de la corba S:

$$a_0 + a_1 r_{1x} + a_2 r_{1x}^2 + a_3 r_{1x}^3 + a_4 r_{1x}^4 = r_{1y}$$

$$a_0 + a_1 \cdot r_{2x} + a_2 \cdot r_{2x}^2 + a_3 \cdot r_{2x}^3 + a_4 \cdot r_{2x}^4 = r_{2y}$$

$$a_0 + a_1 \cdot r_{3x} + a_2 \cdot r_{3x}^2 + a_3 \cdot r_{3x}^3 + a_4 \cdot r_{3x}^4 = r_{3y}$$

$$a_0 + a_1 \cdot r_{4x} + a_2 \cdot r_{4x}^2 + a_3 \cdot r_{4x}^3 + a_4 \cdot r_{4x}^4 = r_{4y}$$

$$a_0 + a_1 \cdot r_{5x} + a_2 \cdot r_{5x}^2 + a_3 \cdot r_{5x}^3 + a_4 \cdot r_{5x}^4 = r_{5y}$$

S'extreu del sistema la matriu de coeficients i el vector columna de termes independents que necessitarem per al càlcul informàtic:

1	r_{1x}	r_{1x}^2	r_{1x}^3	r_{1x}^4	\times	a_0	$=$	r_{1y}
1	r_{2x}	r_{2x}^2	r_{2x}^3	r_{2x}^4		a_1		r_{2y}
1	r_{3x}	r_{3x}^2	r_{3x}^3	r_{3x}^4		a_2		r_{3y}
1	r_{4x}	r_{4x}^2	r_{4x}^3	r_{4x}^4		a_3		r_{4y}
1	r_{5x}	r_{5x}^2	r_{5x}^3	r_{5x}^4		a_4		r_{5y}
MAT_r						COEF_r		T_IND_r

La variable de sortida en aquest cas serà el vector COEF_r. Aquest correspon als coeficients “ a_i ” que defineixen el polinomi $P_n(x)$. D’aquesta forma, la interpolació polinomial ens ha permès obtenir una corba que passa per sobre de tots els punts que s’han volgut fixar. A posteriori, s’utilitzarà aquesta corba per a determinar el punt exacte de cada articulació mòbil.

DEFINICIÓ DE L’ARC DE CIRCUMFERÈNCIA PERIMETRAL:

Per al control de l’arc que fixa la posició de tots les articulacions perimetrals, s’opta per les següents variables d’entrada:

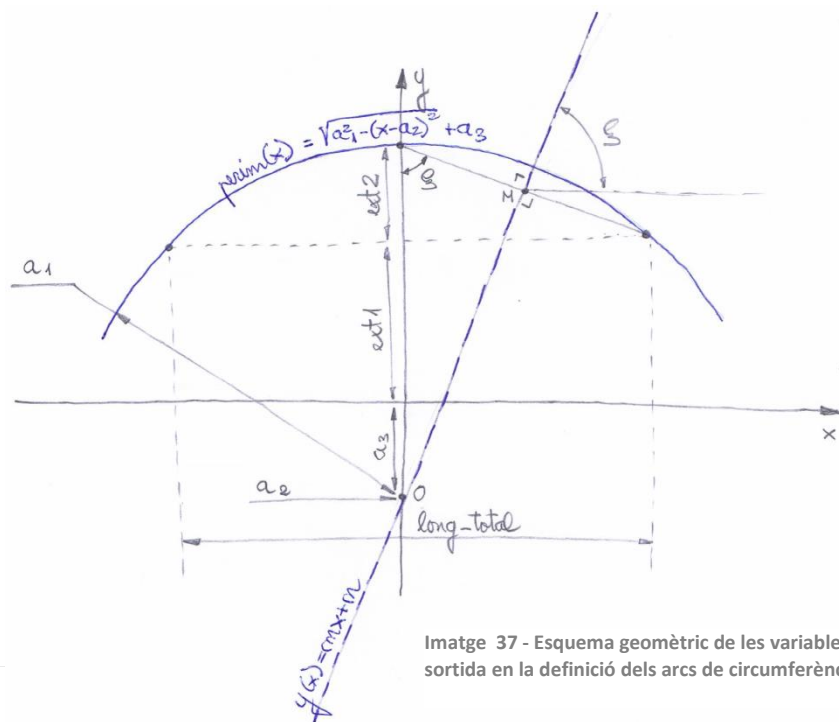
- *long_total* = Distància “ x ” màxima entre un extrem i l’altre del mecanisme.
- *ext 1* = Distància a l’eix d’abscisses de l’arc en els extrems del mecanisme.
- *ext2* = Diferència entre la distància a l’eix d’abscisses al passar per $x=0$ i *ext1*.

Donat que es tracta d’un arc de circumferència simètric respecte l’eix “ y ”, només ens farà falta trobar a_1 i a_3 de les 3 variables de sortida que busquem – a_2 sempre serà 0-. Recordem que les dues funcions que defineixen un arc de circumferència (convex i còncav) tenen la següent estructura:

$$perim(x) = \sqrt{a_1^2 - (x - a_2)^2} + a_3$$

$$perim2(x) = -\sqrt{a_1^2 - (x - a_2)^2} + a_3$$

Així doncs, el procés de càlcul queda de la següent manera. L’esquema geomètric adjunt ajuda a la seva comprensió:



$$a_2 = 0$$

$$T_y = ext1 + \frac{ext2}{2}$$

$$Tx = long_total \cdot \frac{3}{4}$$

$$tg\zeta = \frac{co}{cc} = \frac{long_tot/2}{ext\ 2}$$

$$y = mx + n \text{ (Equació punt – pendent)}$$

$$n = (y - m \cdot x) = r_y - (tg_ \zeta) \cdot Tx$$

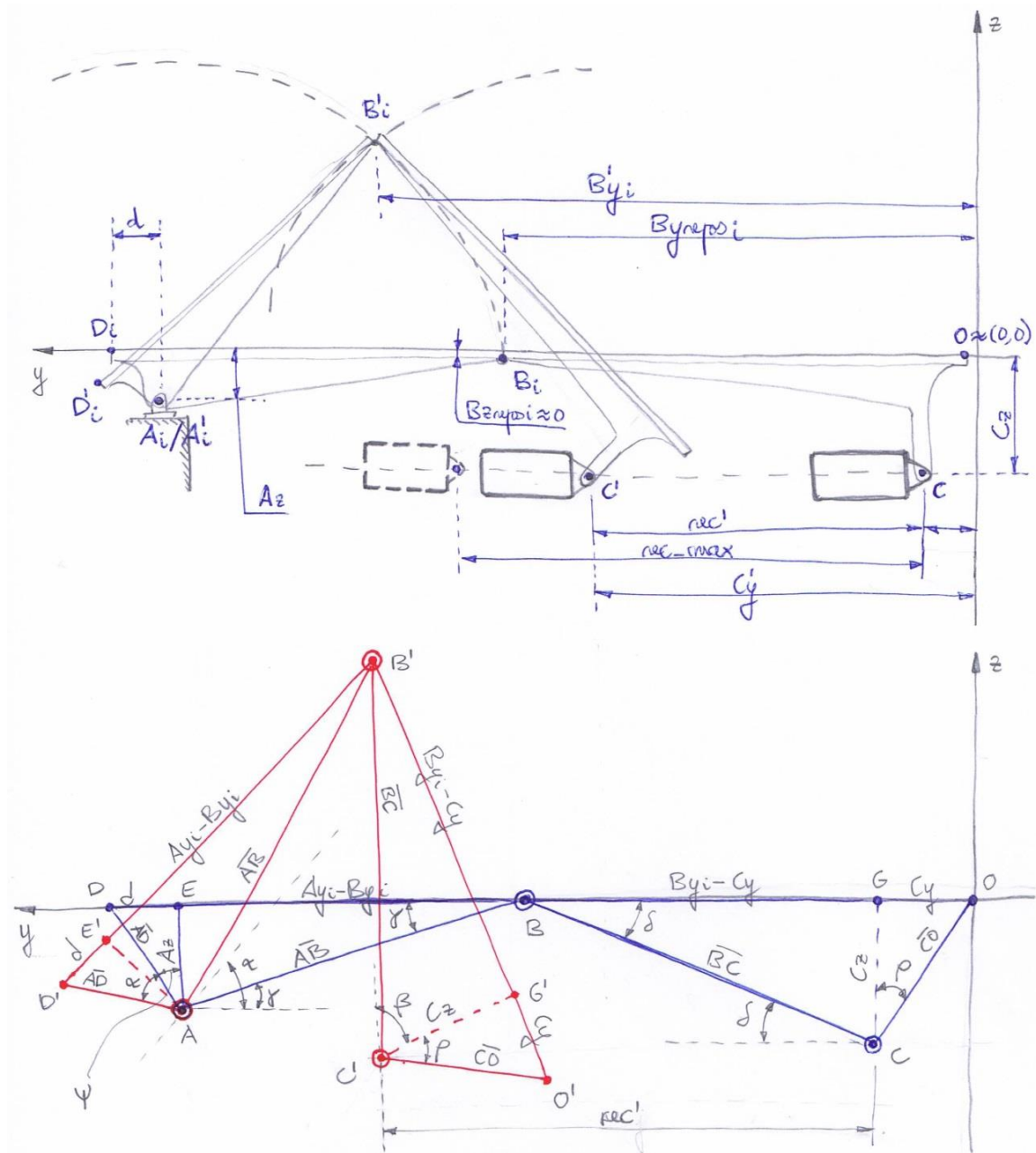
$$a_3 = (tg_{\zeta}) \cdot \frac{long_tot}{2} + n$$

$$a_1 = ext1 + ext2 - a3$$

4.1.2 CALCUL DE SUPERFÍCIES EN L'ESPAI

Un cop estan definides les corbes que governen la posició de totes les articulacions A, B i C en el pla, arriba el moment de controlar la posició en 3D d'aquestes articulacions quan el mecanisme es plega i agafa volumetria.

El primer dels 2 esquemes següents mostra els punts elementals de cada parell de braços "i=1 ... 38" en 2 posicions diferents: posició de repòs i plegat intermedi " ' ". Aquests punts d'estudi són les 3 articulacions anteriorment esmentades (A, B i C) i els punts extrems D i O. A més a més, per al correcte desenvolupament del càlcul, també necessitem fixar els punts E i G. El segon esquema és una simplificació geomètrica del mecanisme.



Imatge 38 - Croquis i esquema geomètric del mecanisme de plegat de braços

El fet de treballar amb un perfil tipus i deixar tots els paràmetres i variables en funció de “i”, ens permetrà aplicar iterativament el mateix procés de càlcul per a cadascuna de les $38 + 38 = 76$ combinacions de braços que té l’estructura. A més a més, el càlcul de les posicions de cada punt també anirà en funció del recorregut d’obertura del mecanisme : “ $rec_j = 0 < 1600 \text{ mm}$ ”. Les possibilitats en multipliquen i és per això que el càlcul computacional esdevé imprescindible en aquest disseny.

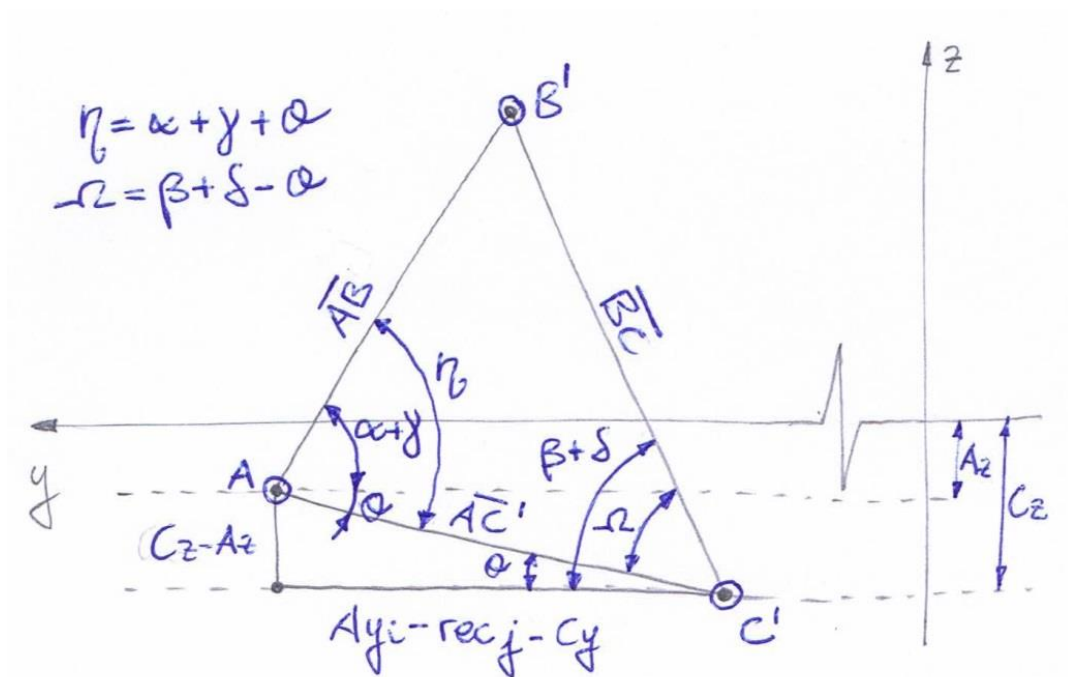
DADES D'ENTRADA: $A_z / C_z / C_y / d \rightarrow$ Paràmetres fixes d’entrada

$A_{yi} / B_{yi} \rightarrow$ Substitució en les funcions definidores

$rec_j \rightarrow$ Variable d’entrada

El primer que cal fer és generar un vector amb la component “y” de cada punt A i cada punt B en estat de repòs. Això ho aconseguim a partir de la definició d’un ample entre braços i de les funcions definidores de l’apartat anterior –perim(x), perim2(x), R(x) i S(x)-. A partir d’aquí comença el càlcul iteratiu per a cada combinació de “i” i de “recj”:

DETERMINACIÓ DELS ANGLES DE CONTROL GENERAL:



Imatge 39 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (1)

$$D_X = O$$

$$D_Y = \overline{DE} + \overline{EO} = d + A_{yi}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{(A_{yi} - B_{yi})^2 + A_z^2}$$

$$\overline{BC} = \sqrt{BG^2 + (CG)^2} = \sqrt{B_{yi} - (y)^2 + (C_z)^2}$$

$$\overline{AC} = \sqrt{(C_z - A_z)^2 + (A_{yi} - (rec_j + C_y))^2}$$

$$\gamma = tg^{-1}\left(\frac{CO}{CC}\right) = tg^{-1}\left(\frac{\overline{EA}}{\overline{EB}}\right) = tg^{-1}\left(\frac{A_z}{A_{yi} - B_{yi}}\right)$$

$$\delta = tg^{-1}\left(\frac{CO}{CC}\right) = tg^{-1}\left(\frac{\overline{GC}}{\overline{BG}}\right) = tg^{-1}\left(\frac{C_z}{B_{yi} - C_y}\right)$$

$$\theta = tg^{-1}\left(\frac{C_z}{A_{yi} - (rec_j + C_y)}\right)$$

Per a la resolució d'aquesta geometria és necessari aplicar el teorema dels cosinus que tot seguit anunciem:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \hat{A}$$

$$\hat{A} = \cos^{-1}\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2 \cdot b \cdot c}\right)$$

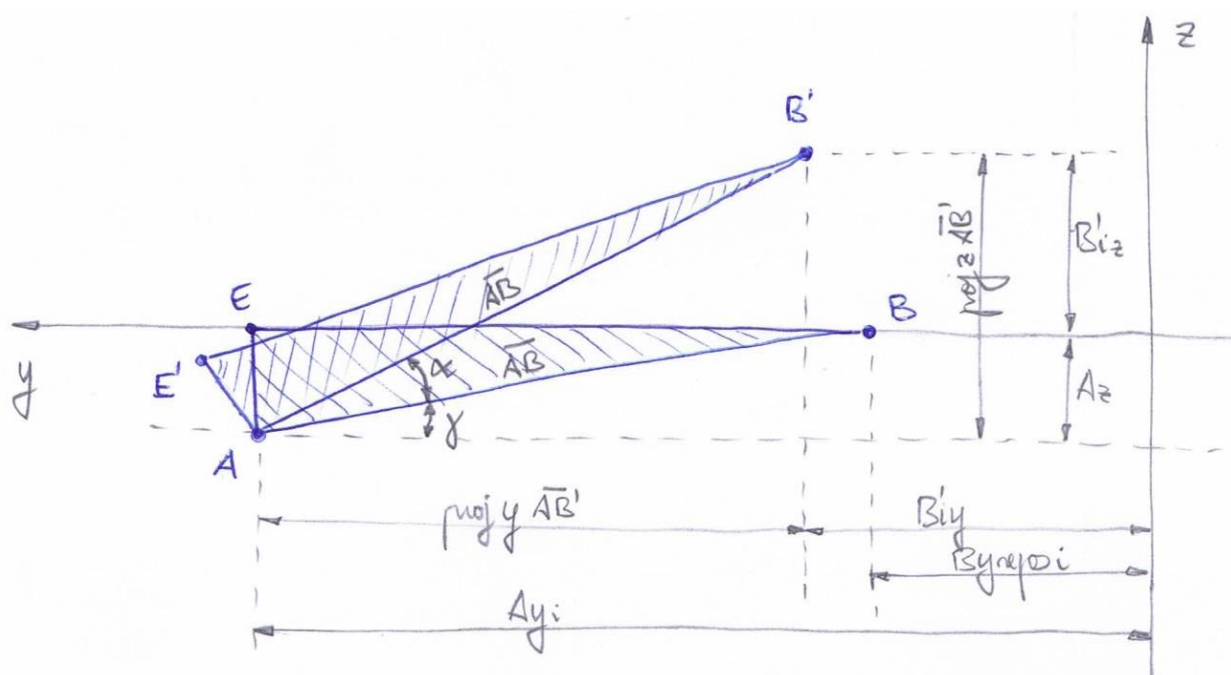
$$\Omega = \cos^{-1}\left(\frac{\overline{AB}^2 - \overline{AC'}^2 - \overline{BC'}^2}{-2 \cdot \overline{AC'} \cdot \overline{BC}}\right)$$

$$\beta = \Omega - \delta + \theta$$

$$\eta = \cos^{-1}\left(\frac{\overline{BC'}^2 - \overline{AB}^2 - \overline{AC'}^2}{-2 \cdot \overline{AB} \cdot \overline{AC'}}\right)$$

$$\alpha = \eta - \gamma - \theta$$

DETERMINACIÓ DEL PUNT "B":



Imatge 40 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (2)

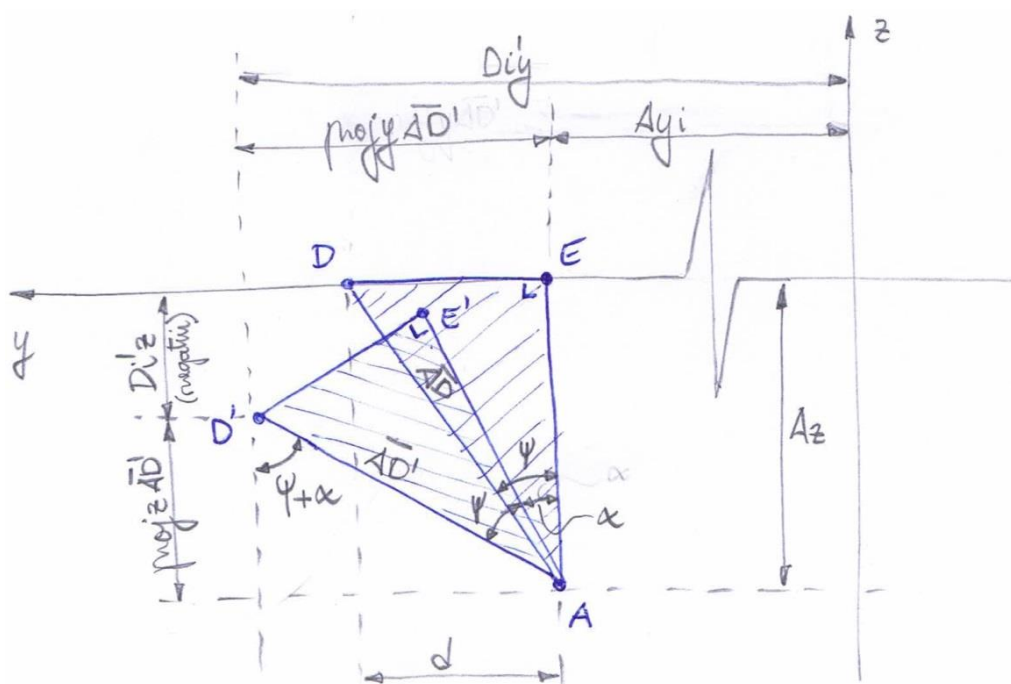
$$\text{proj}_y \overline{AB'} = \cos(\gamma + \alpha) \cdot \overline{AB}$$

$$\text{proj}_z \overline{AB'} = \sin(\gamma + \alpha) \cdot \overline{AB}$$

$$Bi'_y = Ay_i - \text{proj}_y \overline{AB'}$$

$$Bi'_z = \text{proj}_z \overline{AB'} - Az$$

DETERMINACIÓ PUNT D:



Imatge 41 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (3)

$$\overline{AD} = \sqrt{d^2 + A_z^2}$$

$$Q = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{CO}{CC}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{d}{A_z}\right)$$

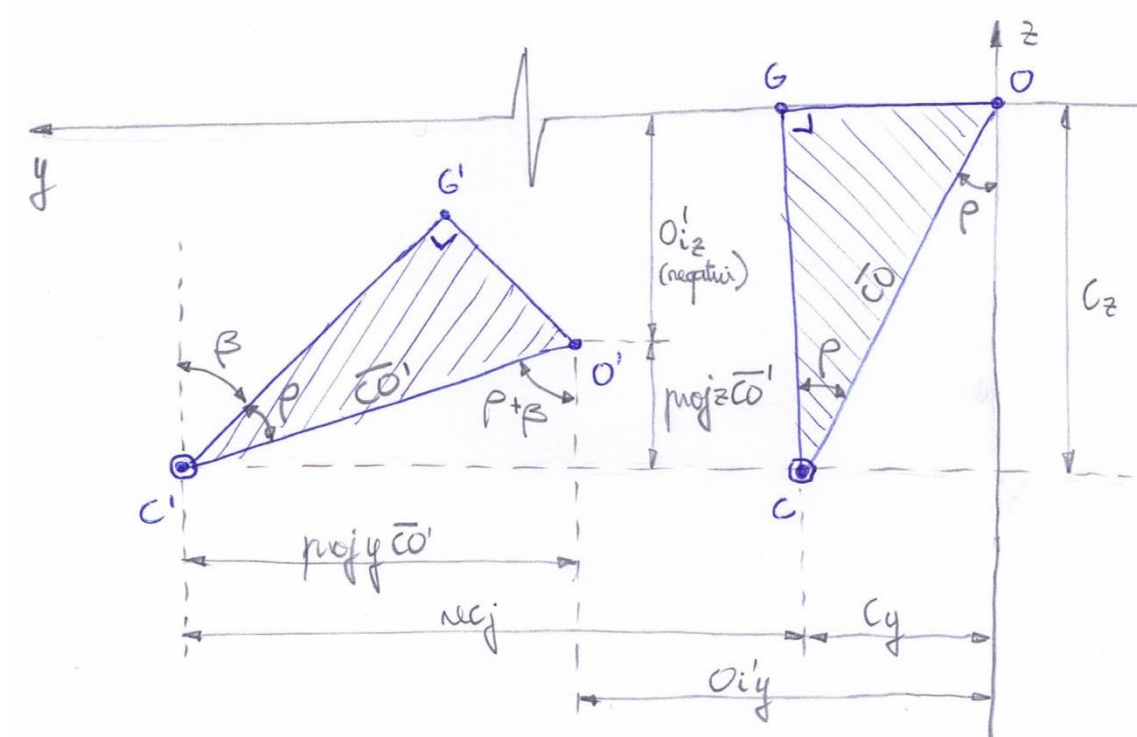
$$\operatorname{proj}_y \overline{AD} = \sin(\psi + \alpha) \cdot \overline{AD}$$

$$\operatorname{proj}_z \overline{AD} = \cos(\psi + \alpha) \cdot \overline{AD}$$

$$Di'_y = A_{yi} + \operatorname{proj}_z \overline{AD}$$

$$Di'_z = -A_z + \operatorname{proj}_z \overline{AD}$$

DETERMINACIÓ PUNT O:



Imatge 42 - Trigonometria implícita en el mecanisme de plegat de braços (4)

$$\overline{CO} = \sqrt{C_y^2 + C_z^2}$$

$$\rho = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{CO}{CC}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{C_y}{C_z}\right)$$

$$\operatorname{proj}_y \overline{CO'} = \sin(\rho + \beta) \cdot \overline{CO}$$

$$\operatorname{proj}_z \overline{CO'} = \cos(\rho + \beta) \cdot \overline{CO}$$

$$O i'_z = -C_z + proj_z \overline{CO'}$$

$$O i'_y = C_y + rec_j - proj_y \overline{CO'}$$

Un cop definides les 3 components de cada punt en funció del recorregut d'obertura i de la posició que ocupen, toca organitzar les matrius de càlcul per a cadascuna de les combinacions i generar gràfics que ens ajudin a valorar aquesta gran quantitat d'informació.

Així doncs, aprofitem les potents eines gràfiques que els programes de càlcul computacional ofereixen per a generar gràfics 2D i 3D.

El gràfic 2D inclourà les 4 corbes definidores de les articulacions del mecanisme - $perim(x)$, $perim2(x)$, $R(x)$ i $S(x)$ - juntament amb els punts de control que haguem definit.

El gràfic 3D constarà de 2 superfícies corresponents a cadascun dels mecanismes d'obertura (EST i OEST). Aquesta representació gràfica dependrà de la variable d'entrada rec_j que haguem fixat en un principi. D'aquesta forma es podrà generar tota una progressió d'imatges relatives al procés d'obertura del mecanisme.

En el següent apartat mostrem l'anàlisi gràfic de l'opció escollida definitivament. Prèviament a aquesta, es va tindre en compte el disseny de 5 geometries diferents a l'escollida. Totes elles les hem agrupat en l'Annex 8.2.

4.1.3 GEOMETRIA ESCOLLIDA

Les corbes escollides per a definir la posició de les articulacions sobre el pla han resultat ser les següents:

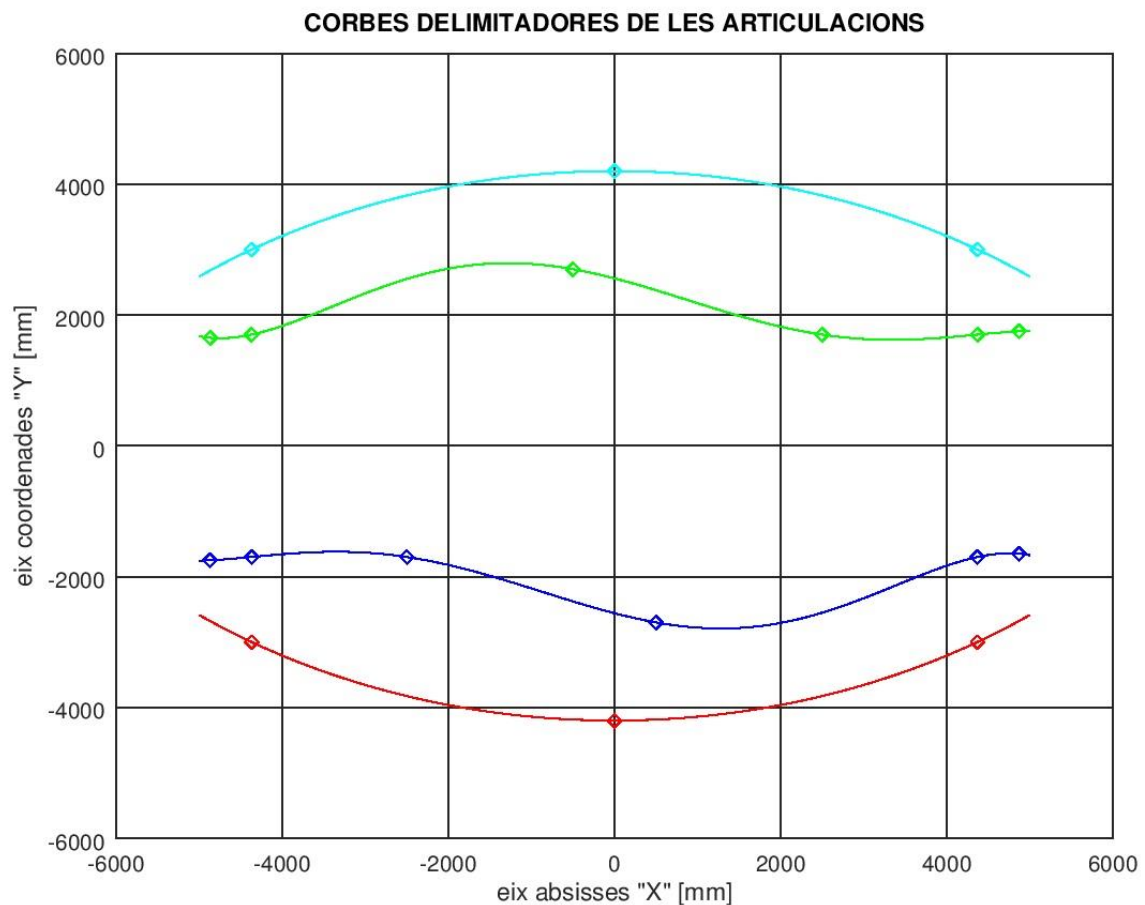
$$perim(x) = \sqrt{8557^2 - (x - 0)^2} - 4357$$

$$perim2(x) = -\left(\sqrt{8557^2 - (x - 0)^2} - 4357\right)$$

$$P_R(x) = 2.5595 - 0.32862x - 0.081249x^2 + 0.029275x^3 \dots \\ + 0.0018977x^4 - 0.00063187x^5$$

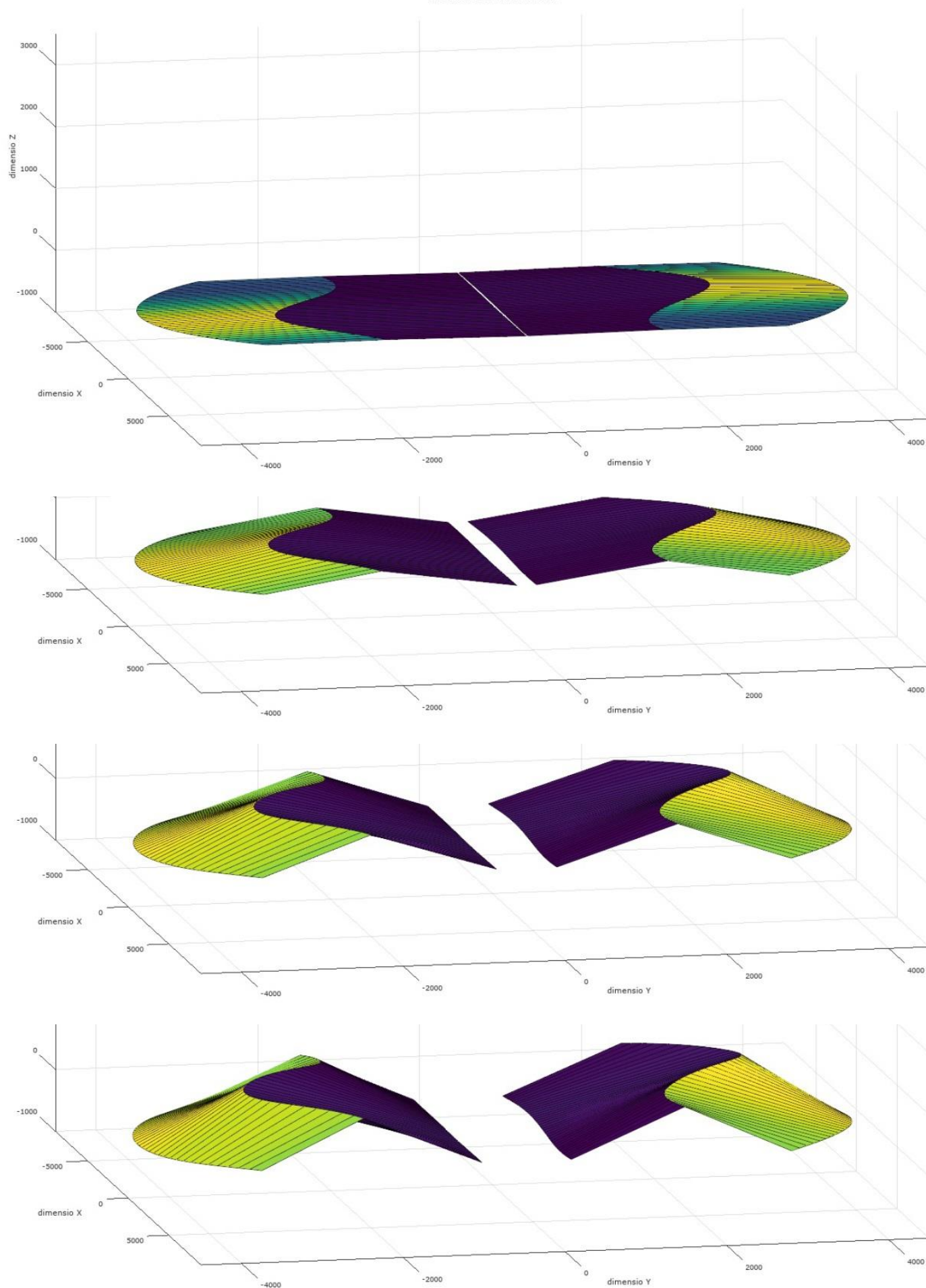
$$P_S(x) = -2.5595 - 0.32862x + 0.081249x^2 + 0.029275x^3 \dots \\ - 0.0018977x^4 - 0.00063187x^5$$

Com es pot observar en les equacions superiors i en el gràfic adjunt, es tracta de 4 corbes que són simètriques entre si. Perim(x) i perim2(x) son simètriques l'una amb l'altre respecte l'eix d'abscisses, mentre que $P_R(x)$ i $P_S(x)$ guarden una relació de simetria respecte l'origen (gir 180°).



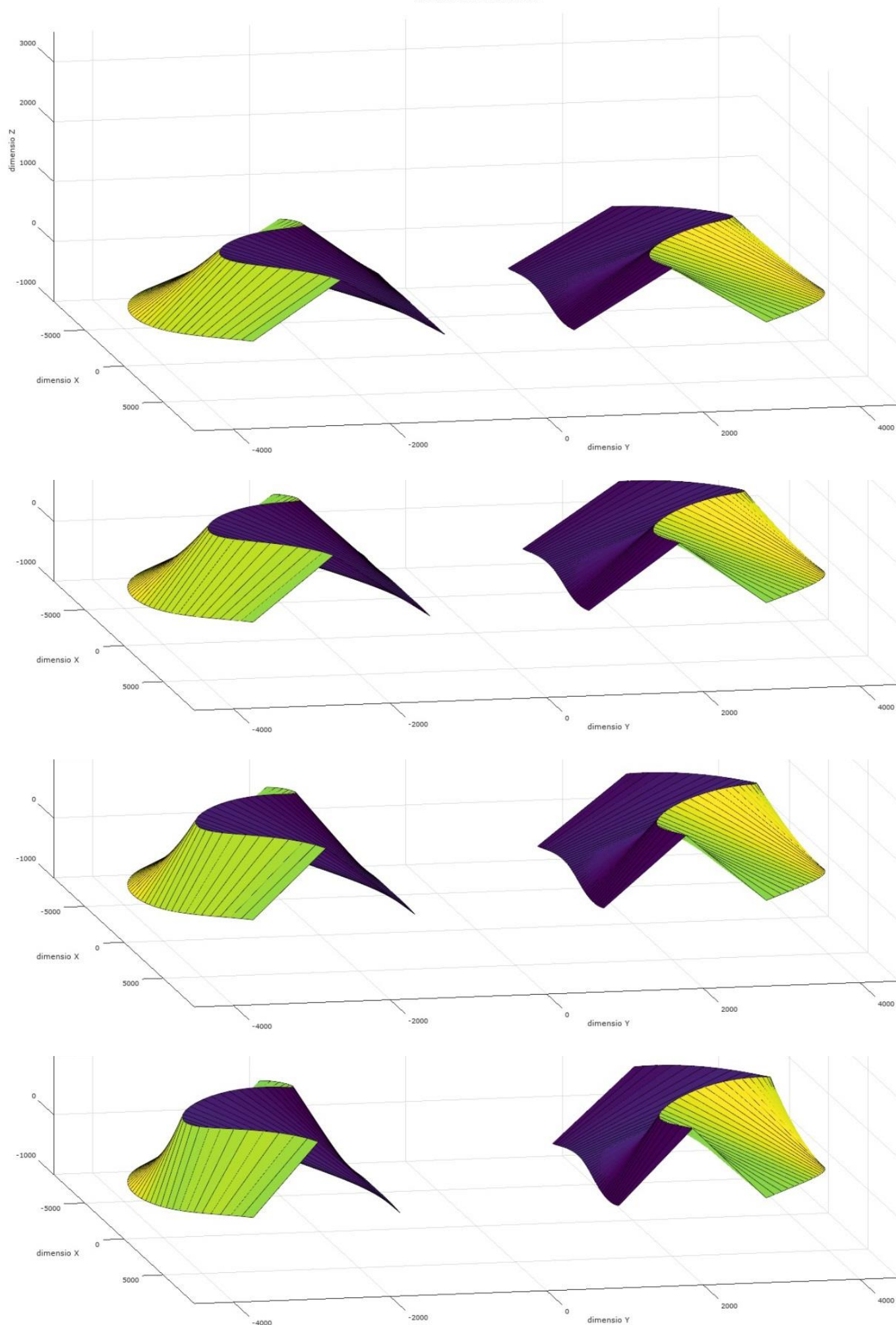
Imatge 43 - Corbes delimitadores de les articulacions A i B

PLEGABILITAT DIFERENCIAL



Imatge 44 - Seqüència de plegat geometria escollida. Recorregut = 0 - 800 mm

PLEGABILITAT DIFERENCIAL



Imatge 45 - Seqüència de plegat geometria escollida. Recorregut = 1000 - 1600 mm

4.2 DIMENSIONAMENT D'ELEMENTS PRINCIPALS

4.2.1 BRAÇOS

El primer dimensionament que cal realitzar un cop s'ha fixat la geometria bàsica del mecanisme és el dels braços. Es tracta de la unitat estructural mínima. Com es pot observar en la imatge 47, aquesta estructura mínima és un mecanisme amb 2 elements principals. Una manovella (1i) -a la que a partir d'ara ens referirem com a "braç-articulat"- i una biela (2i) -a la que direm "braç-biela"-.

Per a cada braç es planteja una secció en forma de "T". Aquesta no es manté continua en tota la longitud sinó que agafa un alçada superior en els extrems per a suportar millor els esforços i es va afinant a mesura que s'atansa a l'articulació B del centre. D'aquesta manera s'intenta reduir el pes de l'estructura complint amb els requeriments estructurals.

REQUERIMENTS ESTRUCTURALS

La situació més restrictiva que hauran de suportar els braços serà en la posició de repòs, és a dir, quan l'estructura estigui tancada i es mimetitzi amb el paviment. En aquesta situació el projecte preveu que l'estructura sigui transitable pels vianants. Hem fixat, doncs, una sobrecàrrega d'ús ($Q_{ús}$) de 300 kg/m². Aquest valor és l'equivalent a tindre 4 persones adultes dempeus sobre cada metre quadrat de l'estructura. Per arribar a aconseguir el valor de la carga lineal sobre cada parell de braços - $F_{uniforme}$ - només restarà multiplicar $Q_{ús}$ per l'ample que ocupen aquests.

$$F_{uniforme} \left(\frac{N}{mml} \right) = Q_{ús} \left(\frac{N}{m^2} \right) \cdot \frac{1}{1000} \left(\frac{m^2}{mm^2} \right) \cdot ample (mm)$$

MATERIALITAT

El material seleccionat per a la conformació dels braços com de tots els seus complements (passadors, pletines, nervis, rosques...) és l'acer inoxidable. A l'annex 8.1.4 FUNCIO "PARAMETRES_OPT.M" es troben especificades totes les característiques pròpies dels materials que s'han utilitzat en els càlculs.


PROCÈS DE CàLCUL I OPTIMITZACIÓ

El que es busca obtenir és una combinació de gruixos de l'ala i de l'ànima del perfil "T" que compleixi totes les comprovacions i minimitzi el pes de l'estructura. Per això s'ha buscat un fabricant de xapes planes d'acer inoxidable i s'han introduït al programa de càlcul tots els gruixos comercials que es fabriquen. Hi ha 19 gruixos diferents que van de 0'5mm fins a 30mm. Això dóna un total de 361 combinacions diferents a analitzar.

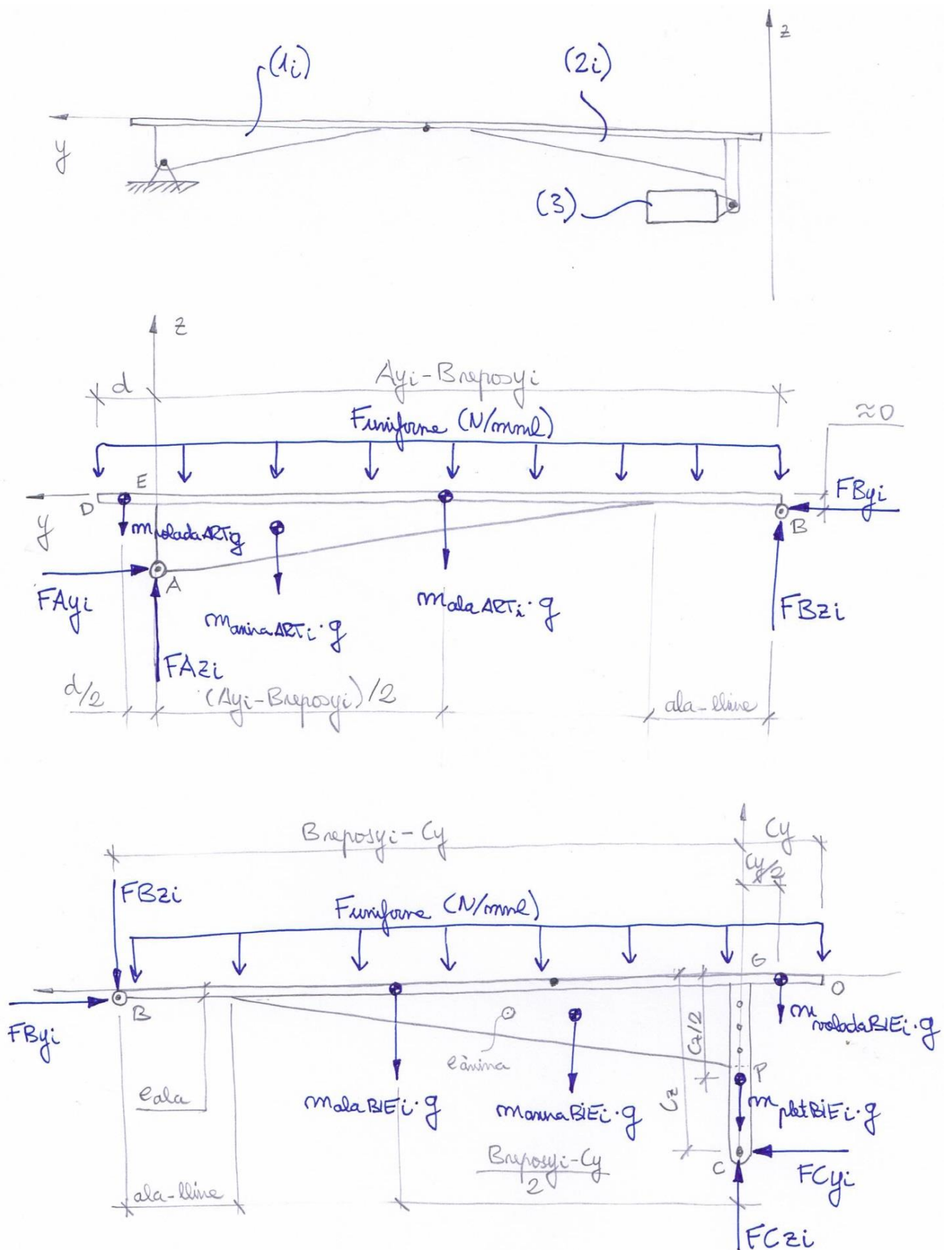
El procés de càlcul per a cada combinació s'organitzarà de la següent manera: Primerament es calcularan les masses pròpies de cada braç. A continuació es farà un anàlisi estàtic en la posició de repòs amb totes les forces implicades. Posteriorment es determinaran els diagrames de moments flectors, moments tallants i axils.

Es calcularà el centre de gravetat, el moment d'inèrcia i el moment resistent de la secció més sol·licitada per acabar obtenint les tensions aplicades en els seus punts crítics. Aquestes s'unificaran en la tensió de Von Mises i es comprovarà que no sigui mai superior a la tensió admissible del material (tens = 275 N/mm²) minorada per un coeficient de seguretat ($C_s = 2$).

Seguidament també es realitzarà una comprovació a fletxa màxima ($f_{\max} = L/300$) modelitzant cada braç com si fos una barra encastada amb extrem lliure (punt B), una comprovació a deformació transversal de l'ala, i una última comprovació a pandeig en la secció del braç més desfavorable.

CHAPAS LAMINADAS EN FRÍO Y CALIENTE										
Calidades AISI 304, AISI 316, AISI 304L, AISI 316L, AISI 321, AISI 310, AISI 420, AISI 430.										
Acabados en bruto, pulido, esmerilado o satinado.										
										
MEDIDAS PESO EN KG/U SEGUN ESPESOR (mm) Y MEDIDAS										
mm	0,5 mm	0,6 mm	0,8 mm	1 mm	1,5 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
2000 X 1000	8	10	13	16	24	32	48	65	87	98
3000 X 1000	12	15	20	24	36	48	72	97	121	146
3000 X 1500	-	-	29	36	54	72	108	145	181	218
6000 X 1500	-	-	-	-	-	-	216	290	362	434
6000 X 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEDIDAS PESO EN KG/U SEGUN ESPESOR (mm) Y MEDIDAS										
mm	8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	18 mm	20 mm	25 mm	30 mm	
2000 X 1000	130	161	194	226	260	291	322	403	484	
3000 X 1000	193	241	290	338	385	433	481	602	722	
3000 X 1500	289	362	434	505	578	649	722	903	1082	
6000 X 1500	577	722	865	1009	1154	1298	1442	1803	2164	
6000 X 2000	-	963	1154	1345	1537	1729	1923	2405	2885	

Imatge 46 - Catàleg de xapes laminades d'acer inoxidable. Seccions de 0.5mm a 30mm. Casa "METALCO Prolians"



Imatge 47 - Diagrama de cos lliure (D.C.LL.) de cada un dels braços d'un mecanisme tipus (i).

CÀLCUL DE MASSES PRÒPIES:

$$m_{roladaART} = e_{ala} \cdot d \cdot (ample - escletxa) \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{\grave{a}nimaART} = e_{\grave{a}nima} \cdot \left((A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}) - ala_{lliure} \right) \cdot \frac{A_z}{2} \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{alaART} = e_{ala} \cdot (A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}) \cdot (ample - escletxa) \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{roladaBIE} = e_{ala} \cdot C_y \cdot (ample - escletxa) \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{\grave{a}nimaBIE} = e_{\grave{a}nima} \cdot \left((B_{rep\grave{o}syi} - C_y) - ala_{lliure} \right) \cdot \frac{A_z}{2} \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{alaBIE} = e_{ala} \cdot (B_{rep\grave{o}syi} - C_y) \cdot (ample - escletxa) \cdot dens[\text{kg}]$$

$$m_{pletBIE} = 2 \cdot e_{plet} \cdot amp_{plet} \cdot C_z dens[\text{kg}]$$

ANÀLISI ESTÀTIC DEL MECANISME:

$$(1i) \sum (M_z)_A = 0$$

$$FB_{zi}(A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}) + FB_{yi} \cdot A_z + m_{roladaART} \cdot g \cdot \frac{d}{2} - m_{\grave{a}nimaART_i} \cdot$$

$$g \left(\frac{A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi} - ala_{lliure}}{3} \right) - m_{alaART_i} \cdot g \left(\frac{A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}}{2} \right) + F_{uniforme} \cdot d \cdot \frac{d}{2} - F_{uniforme} \cdot$$

$$(A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}) \cdot \left(\frac{A_{yi} - B_{rep\grave{o}syi}}{2} \right) = 0$$

$$(2i) \sum (M_z)_C = 0$$

$$\begin{aligned} -FB_{zi}(B_{rep\grave{o}syi} - C_y) + FB_{yi} \cdot C_z + m_{roladaBIE} \cdot g \cdot \frac{C_y}{2} - m_{alaBIE_i} \cdot g \left(\frac{B_{rep\grave{o}syi} - C_y}{2} \right) \\ - m_{\grave{a}nimaBIE_i} \cdot g \left(\frac{B_{rep\grave{o}syi} - C_y - ala_{lliure}}{3} \right) - F_{uniforme} \cdot (B_{rep\grave{o}syi} - C_y) \\ \cdot \left(\frac{B_{rep\grave{o}syi} - C_y}{2} \right) + F_{uniforme} \cdot C_y \cdot \frac{C_y}{2} = 0 \end{aligned}$$

Amb aquestes dues equacions extreïes del sumatori de moments en cada braç es pot calcular les reaccions internes en el punt B: FB_{yi} i FB_{zi} . Tenim un sistema compatible determinat de 2 eq. + 2 incog que resollem seguidament:

(A_z)	$A_{yi} - B_{repòsyi}$	x	FB_{yi}	=	$+m_{roladaART} \cdot g \cdot \frac{d}{2} - m_{ànimaART_i}$ $\cdot g \left(\frac{A_{yi} - B_{repòsyi} - ala_{lliure}}{3} \right)$ $- m_{alaART_i} \cdot g \left(\frac{A_{yi} - B_{repòsyi}}{2} \right)$ $+ F_{uniforme} \cdot d \cdot \frac{d}{2} - F_{uniforme}$ $\cdot (A_{yi} - B_{repòsyi})$ $\cdot \left(\frac{(A_{yi} - B_{repòsyi})}{2} \right)$
$(+C_z)$	$-(B_{repòsyi} - C_y)$		FB_{zi}		$-m_{rolataBIE} \cdot g \cdot \frac{C_y}{2} + m_{alaBIE_i}$ $\cdot g \left(\frac{B_{repòsyi} - C_y}{2} \right) + m_{ànimaBIE_i}$ $\cdot g \left(\frac{B_{repòsyi} - C_y - ala_{lliure}}{3} \right)$ $+ F_{uniforme} \cdot (B_{repòsyi} - C_y)$ $\cdot \left(\frac{B_{repòsyi} - C_y}{2} \right) - F_{uniforme} \cdot C_y$ $\cdot \frac{C_y}{2}$
MAT_COEF.			INCOG.		TERM. INDEP.

A partir d'aquí les demés incògnites del model ja es poden calcular de forma explícita i directa:

$$(1i) \sum (F_y) = 0$$

$$FA_{yi} = FB_{yi}$$

$$(1i) \sum (F_z) = 0$$

$$FA_{zi} = -FB_{zi} + F_{uniforme}(d + A_{yi} - B_{repòsyi}) + m_{ànimaART_i} \cdot g + m_{roladaART} \cdot g + m_{alaART_i} \cdot g$$

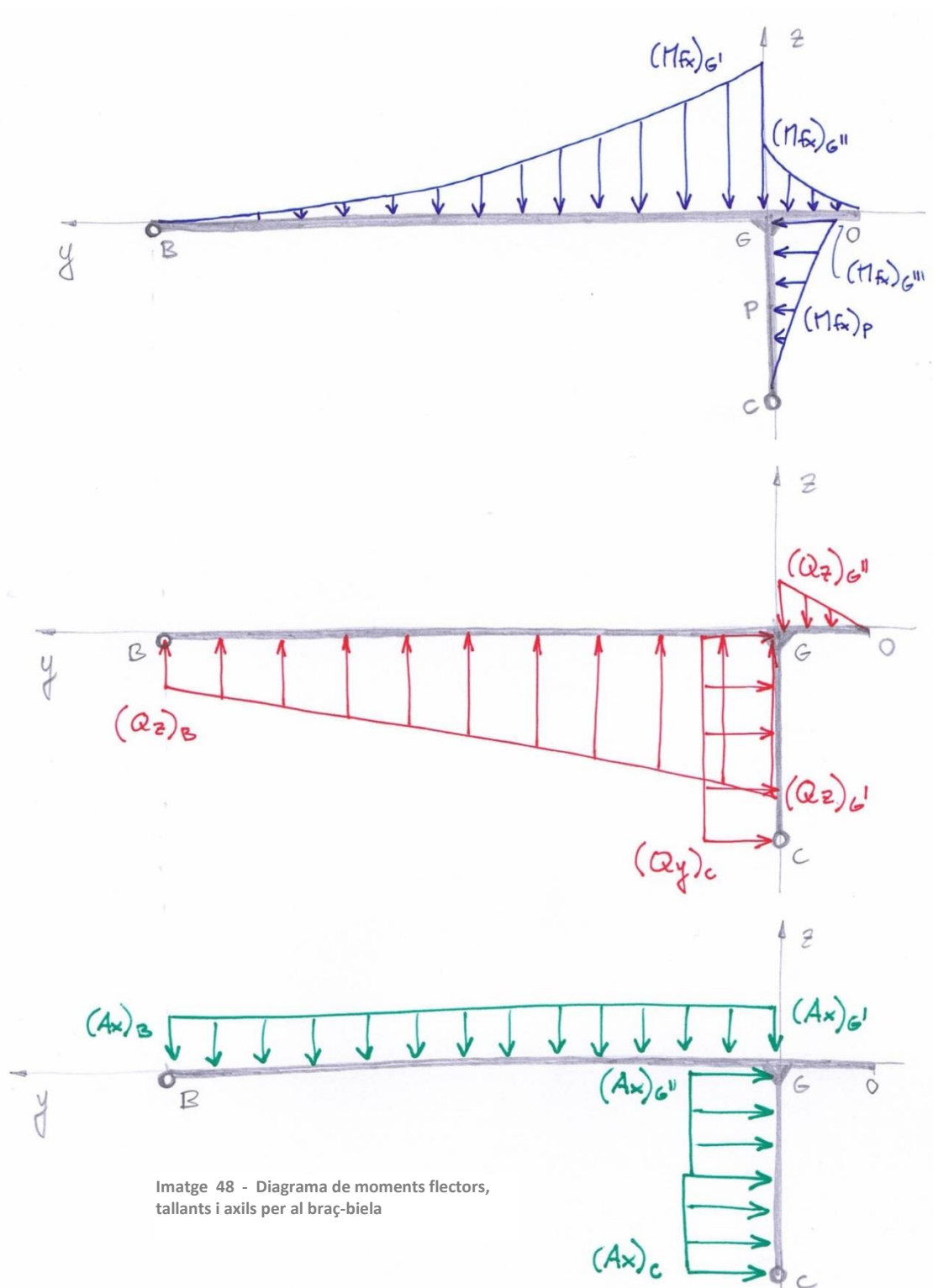
$$(2i) \sum (F_y) = 0$$

$$FC_{yi} = FB_{yi}$$

$$(2i) \sum (F_z) = 0$$

$$FC_{zi} = FB_{zi} + m_{alaBIE_i} \cdot g + m_{ànimaBIE_i} \cdot g + m_{roladaBIE} \cdot g + m_{pletBIE} \cdot g + \dots + F_{uniforme} \cdot (B_{repòszi})$$

DIAGRÀMES DE MOMENTS FLECTORS, TALLANTS I AXILS PER AL BRAÇ-BIELA:



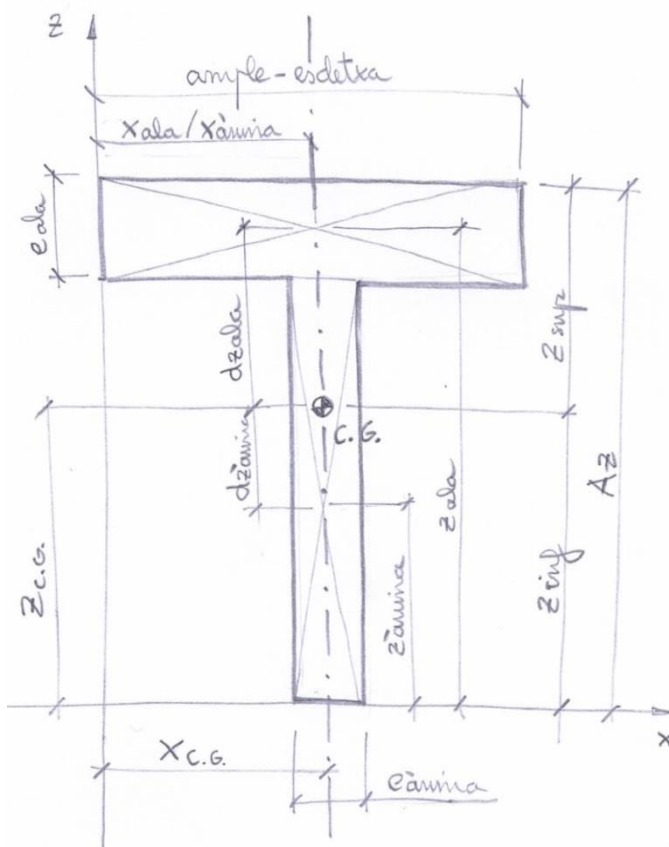
Imatge 48 - Diagrama de moments flectors, tallants i axils per al braç-biela

$$(M_{fx})_{G'} = (B_{repòsy} - C_y) \cdot FB_{zi} + F_{uniforme} \cdot \frac{(B_{repòsy} - C_y)^2}{2} + m_{alaBIE} \cdot g \cdot \frac{(B_{repòsy} - C_y)}{2} + m_{ànimaBIE} \cdot \frac{(B_{repòsy} - C_y - ala_{lliure})}{3}$$

$$(Q_z)_{G'} = FB_{zi} + F_{uniforme} \cdot (B_{repòsy} - C_y) + m_{alaBIE} + m_{ànimaBIE}$$

$$(A_x)_{G'} = FB_{yi}$$

CÀLCUL DEL CENTRE DE GRAVETAT:



Imatge 49 - Secció tipus del braç. Esquema dimensional de la secció

$$A_{ala} = e_{ala} \cdot (\text{ample} - \text{escletxa})$$

$$A_{ànima} = e_{ànima} \cdot (A_z - e_{ala})$$

$$X_{ala} = \frac{\text{ample} - \text{escletxa}}{2}$$

$$X_{ànima} = X_{ala}$$

$$Z_{ala} = A_z - \left(\frac{e_{ala}}{2}\right)$$

$$Z_{ànima} = \frac{A_z - e_{ala}}{2}$$

$$X_{C.G.} \cdot \sum A_i = \sum (A_i \cdot X_i)$$

$$X_{C.G.} = \frac{A_{ala} \cdot X_{ala} + A_{ànima} \cdot X_{ànima}}{A_{ala} + A_{ànima}}$$

$$Z_{C.G.} \cdot \sum A_i = \sum (A_i \cdot z_i)$$

$$Z_{C.G.} = \frac{A_{ala} \cdot Z_{ala} + A_{ànima} \cdot Z_{ànima}}{A_{ala} + A_{ànima}}$$

CÀLCUL DEL MOMENT D'INÈRCIA:

TEOREMA STEINER

$$I_x = I_{ox} + A \cdot d_z^2$$

$$I_z = I_{oz} + A \cdot d_x^2$$

Per a la resolució del moment d'inèrcia de la secció recorrerem al teorema d'Steiner. Es tracta d'una secció composta per dos rectangles. S'obvien en el càlcul els materials d'aportació en la soldadura entre xapes.

$$I_{x\grave{a}nima} = I_{ox\grave{a}nima} + A_{\grave{a}nima} \cdot d_{z\grave{a}nima}^2$$

$$I_{x\grave{a}nima} = \frac{e_{\grave{a}nima} \cdot (A_z - e_{ala})^3}{12} + A_{\grave{a}nima} \cdot (Z_{C.G.} - z_{\grave{a}nima})^2$$

$$I_{xala} = I_{oxala} + A_{ala} \cdot d_{zala}^2$$

$$I_{xala} = \frac{(ample - escletxa) \cdot e_{ala}^3}{12} + A_{ala} \cdot (Z_{ala} - Z_{C.G.})^2$$

$$I_{xbra\grave{c}} = I_{x\grave{a}nima} + I_{xala} \quad [mm^4]$$

CÀLCUL MÒDUL RESISTENT:

$$W_{SUP} = \frac{I_{xbra\grave{c}}}{Z_{sup}} \left(\frac{[mm^4]}{[mm]} \right) = \frac{I_{xbra\grave{c}}}{A_z - Z_{C.G.}} \quad [mm^3]$$

$$W_{INF} = \frac{I_{xbra\grave{c}}}{Z_{inf}} = \frac{I_{xbra\grave{c}}}{Z_{C.G.}} \quad [mm^3]$$

CÀLCUL DE LA TENSÍO DE VON MISES EN ELS PUNTS CRÍTICS:

Es tindran en compte les tensions normals i tangencials pròpies de tots els esforços que apareixen a l'estructura (esforç flector, axil i tallant). Es composaran les tensions tal i com es mostra en la Img.50 i es comprovarà que no superin la tensió admissible minorada per un coeficient de seguretat.

CÀLCUL DE TENSIONS NORMALS PER MOMENT FLECTOR

$$\sigma_{fxsup} \text{ (tracció)} = \frac{M_f}{W_{sup}} \left(\frac{[Nmm]}{mm^3} \right) \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{fxinf} \text{ (compressió)} = \frac{M_f}{W_{inf}} \left(\frac{[Nmm]}{mm^3} \right) \quad [N/mm^2]$$

CÀLCUL DE TENSIONS NORMALS PER MOMENT AXIL

$$\sigma_{axil} = \frac{(Ax_G)}{A_{\grave{a}nima} + A_{ala}} \quad [N/mm^2]$$

CÀLCUL DE TENSIONS TANGENCIALS PER MOMENT TALLANT

$$\tau = \frac{M_{est} \cdot Q}{b \cdot I_x} \quad [N/mm^2]$$

M_{est} = Moment estàtic de la fletxa considerada

Q = Ample secció fletxa considerada

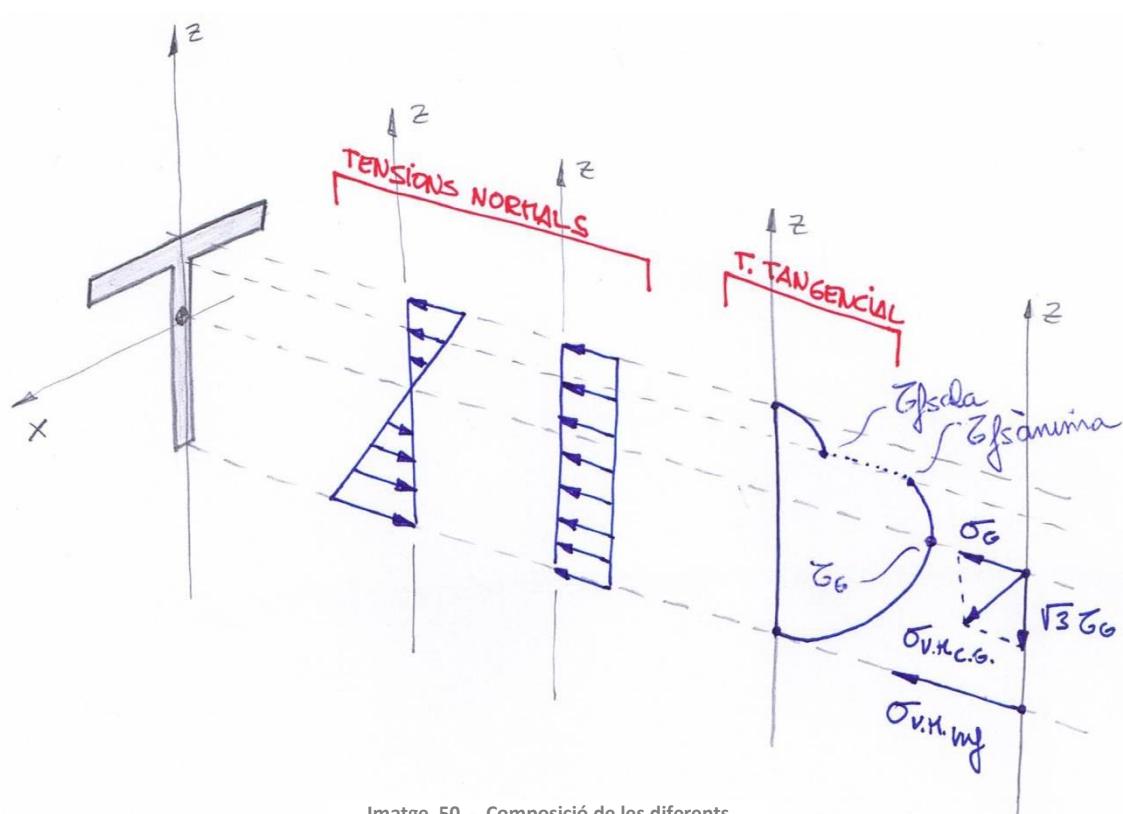
$$\tau_{fs\text{ ala}} = \frac{(A_{ala} \cdot d_{zala}) \cdot Q}{(\text{angle} - \text{escletxa}) \cdot I_{x\text{ braç}}} \quad [N/mm^2]$$

$$\tau_{fs\text{ ànima}} = \frac{(A_{ala} \cdot d_{zala}) \cdot Q}{(e_{ànima}) \cdot I_{x\text{ braç}}} \quad [N/mm^2]$$

$$\tau_G = \frac{(Z_{C.G.} \cdot E_{ànima}) \cdot \frac{Z_{C.G.}}{2} \cdot Q}{(e_{ànima}) \cdot I_x} \quad [N/mm^2]$$

CÀLCUL TENSIONS VON MISSES

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad [N/mm^2]$$



Imatge 50 - Composició de les diferents tensions en la secció més desfavorable

COMPROVACIÓ DE TENSIÓ MÀXIMA ADMISIBLE:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resistent}}{C_s} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{VM,CG} < \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{VM,inf} < \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{VM,sup} < \sigma_{adm}$$

COMPROVACIÓ A FLETXA ADMISSIBLE:

Per a realitzar una comprovació a deformació de l'estructura triarticulada s'ha optat per modelar un dels braços (braç-biela) com si fos una mènula, amb un extrem encastat i l'altre lliure. L'equació que regeix el desplaçament vertical de l'extrem lliure quan la barra està sotmesa a una força uniforme "q" és la següent:

$$f_{càlcul} = \frac{1}{3} \cdot \frac{q \cdot L^4}{EI}$$
$$f_{càlcul} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(F_{uniforme} + \sum \frac{m_{BIE}}{B_{yrepòs}}) \cdot (B_{yrepòs} - C_y)^4}{E \cdot I_{x \text{ braç}}}$$

Posteriorment comparem aquest valor amb la f_{adm} que es desprèn de la fletxa màxima per unitat de longitud que hem fixat inicialment:

$$f_{adm} = \frac{B_{yrepòs} - C_y}{f_{max}} = \frac{B_{yrepòs} - C_y}{L/300}$$
$$f_{adm} > f_{càlcul}$$

COMPROVACIÓ RESISTÈNCIA TRANSVERSAL DE L'ALA:

Si examinem un dels 2 costats de l'ala observem que també es pot assimilar a un element en voladís. Encara que el braç pugui complir amb les comprovacions de resistència i deformació en el seu conjunt, l'ala del perfil pot col·lapsar si no té un gruix suficient.

D'aquesta forma plantegem un anàlisi transversal de l'ala aplicant la força superficial $Q_{ús}$ especificada en el requeriments. Es realitza el càlcul per una llesca del perfil d'1

mm d'ample. De la mateixa forma que en l'anàlisi longitudinal, l'objectiu es arribar a la tensió de Von Misses màxima de l'àmbit d'estudi i comparar-la amb la tensió màxima admissible. La tensió de Von Mises màxima la trobarem en el punt superior i inferior de l'ala quan aquesta neix del centre del perfil.

$$I_y = \frac{1 \cdot e_{ala}^3}{12} \quad [mm^4]$$

$$W = \frac{I_y}{\frac{e_{ala}}{2}} \quad [mm^3]$$

$$Q_{puntual} = Q_{ús} \cdot \left(\frac{angle - e_{anima}}{2} \right) \cdot 1 \quad [N]$$

$$M_{fx} = Q_{puntual} \cdot \frac{angle + e_{anima}}{4} \quad [Nmm]$$

$$\sigma_{fx\ ala} = \frac{M_{fx}}{W} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{VM\ ala} = \sqrt{\sigma_N^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\sigma_{fx\ ala}^2 + 3 \cdot 0^2} = \sigma_{fx\ ala} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resistent}}{C_s} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{VMala} < \sigma_{adm}$$

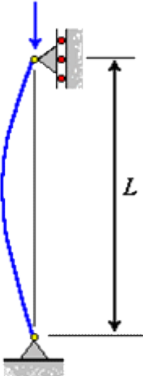
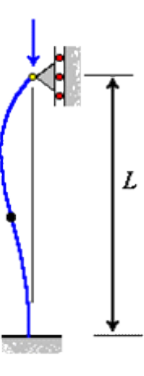

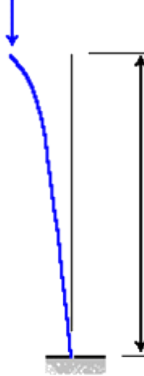
COMPROVACIÓ PANDEIG DEL PERFIL:

L'esforç més intens que rep cada un dels braços en aquesta configuració de pòrtic triarticulat és el de compressió. Les reaccions internes que es generen en l'articulació B són clarament més notòries en la direcció horitzontal, tal i com mostren els gràfics de les imatges 53 i 54. Això ens porta a voler afegir una comprovació més a pandeig per compressió. En aquest últim pas comprovarem que la força de compressió de cada braç (F_comp) no sigui mai superior a la força crítica (F_crit) a partir de la qual la barra col·lapsaria.

$$F_{crit} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_{min}}{(\alpha L)^2} \quad [N]$$

$$F_{crit} < F_{max_compressió} = F_{By_max}$$

Per al càlcul de la “ I_{\min} ” recorrerem a la formulació dels apartats “Càlcul Centre de Gravetat” i “Càlcul Moment d’Inèrcia” però aplicat a la secció del punt B, on el perfil ha perdut l’anima i només compta amb l’ala superior.

Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Imatge 51 - Tipus de pandeig en barres comprimides segons fixació en els extrems

El valor de “ α ” serà 1 degut a la tipologia de fixació que tenen els braços en els seus extrems (empotrat-empotrat). El valor de “ L ” serà la llargada del braç més llarg, doncs anem a comprovar la situació més desfavorable.

MODIFICACIÓ DEL DISSENY:

Durant el càlcul computacional de les diferents combinacions de gruixos en el perfil ens vam donar compte de que les possibilitats es reduïen dràsticament al fer aquesta comprovació a pandeig, i els perfils vàlids requerien d’un gruix d’ala desproporcionat.

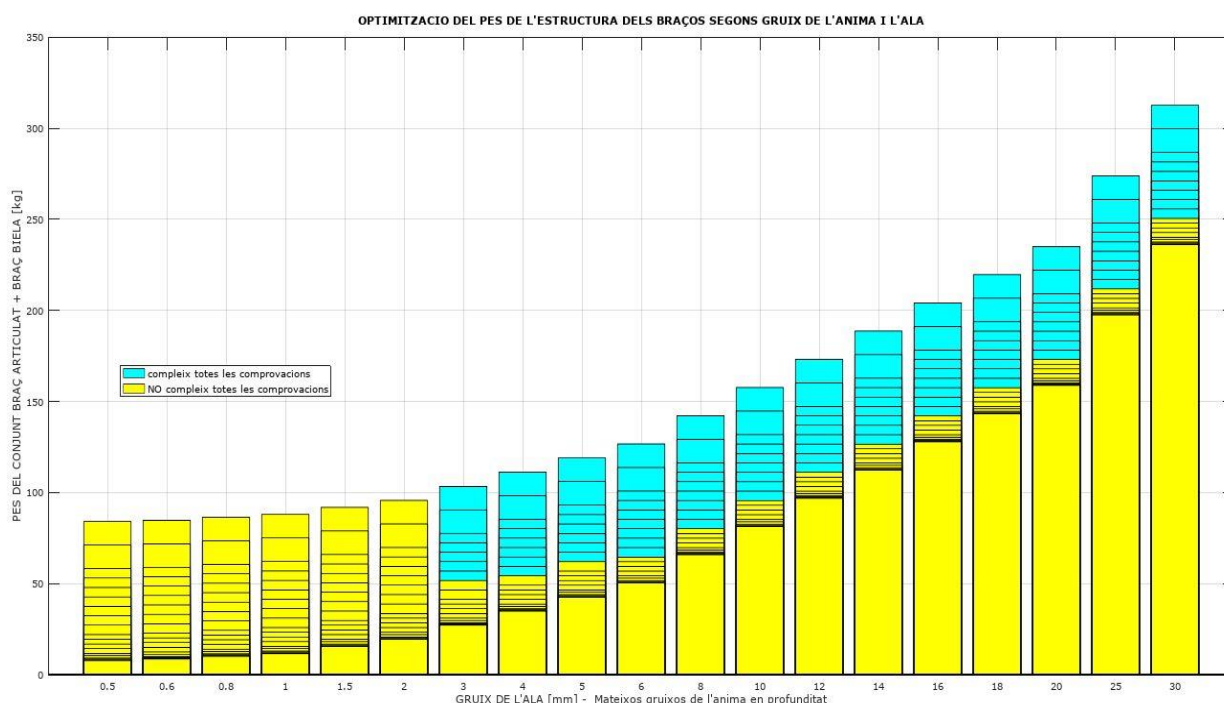
Aquest fet va fer que modifiquéssim el disseny inicial i introduíssim una **ànima continua de costat a costat del braç**. La nova ànima tindria el mateix valor d’alçada en l’articulació fixa i s’aniria afinant fins acabar reforçant l’articulació B, amb una distància respecte el pla superior d’uns 30mm aprox.

Amb aquest nou disseny les comprovacions a pandeig contaven amb una inèrcia mínima molt major i assolien forces crítiques molt superiors.

RESULTATS DEL CÀLCUL I OPTIMITZACIÓ:

Per a visualitzar d'una forma entenedora els resultats s'ha volgut generar la gràfica següent. Es tracta d'un histograma 3D vist des d'un pla paral·lel a les barres. En l'eix vertical observem el pes del conjunt braç-articulat + braç-biela. En l'eix horitzontal veiem com s'organitzen els diferents gruixos comercials de xapes d'acer inoxidable per a conformar l'ala i en profunditat –una barra darrera de l'altra- per a l'ànima.

Cadascuna de les 361 combinacions de gruixos (19x19) està pintada d'un color. Si la secció que formen com a ala i ànima compleix amb tots els requeriments i comprovacions plantejats és de color blau. Mentre que si falla en alguna de les comprovacions descrites anteriorment, és de color groc.



Imatge 52 - Optimització del pes de l'estructura dels braços segons gruix de l'ànima i l'ala

GRUIXOS QUE OPTIMITZEN LA SECCIÓ:

gruix de l'ala = 3 mm

gruix de l'ànima = 12 mm

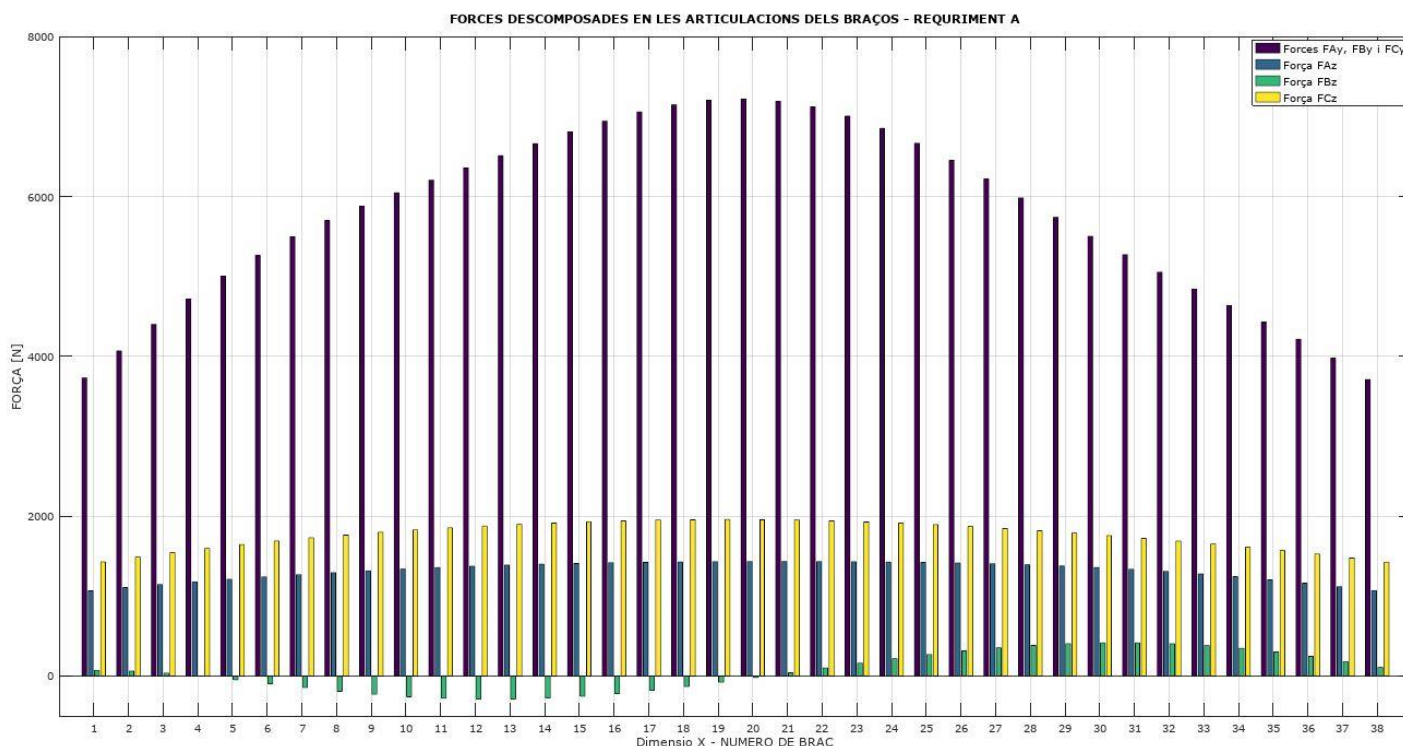
Aquests valors corresponen a l'optimització de la secció aplicada al braç més desfavorable del conjunt (braç més llarg en la zona central). Un cop definida la secció podem calcular les forces reactives en les articulacions A i C que ens serviran per a seguir modelant el mecanisme element a element.

Els gràfics que mostrem a continuació mostren les reaccions externes (FAy, FAz, FCy, FCz) i les reaccions internes (FBy, FBz) que es produeixen a cadascun dels diafragmes de l'estructura ($i=1...38$). El gràfic que correspon a la Img.53 fa referència al requeriment A, mentre que a la Img. 54 veiem els resultats de l'aplicació del requeriment B. Tot seguit els expliquem:

REQUERIMENT A = Situació més compromesa de l'estructura. Roman tancada en estat de repòs amb l'aplicació d'una força superficial $Q_{\text{ús}} = 300 \text{ kg/m}^2$ juntament amb el P.P. dels braços. La força horitzontal en C es contraresta sobre les 4 bigues transversals. Sobre aquest requeriment s'han dimensionat la seccions.

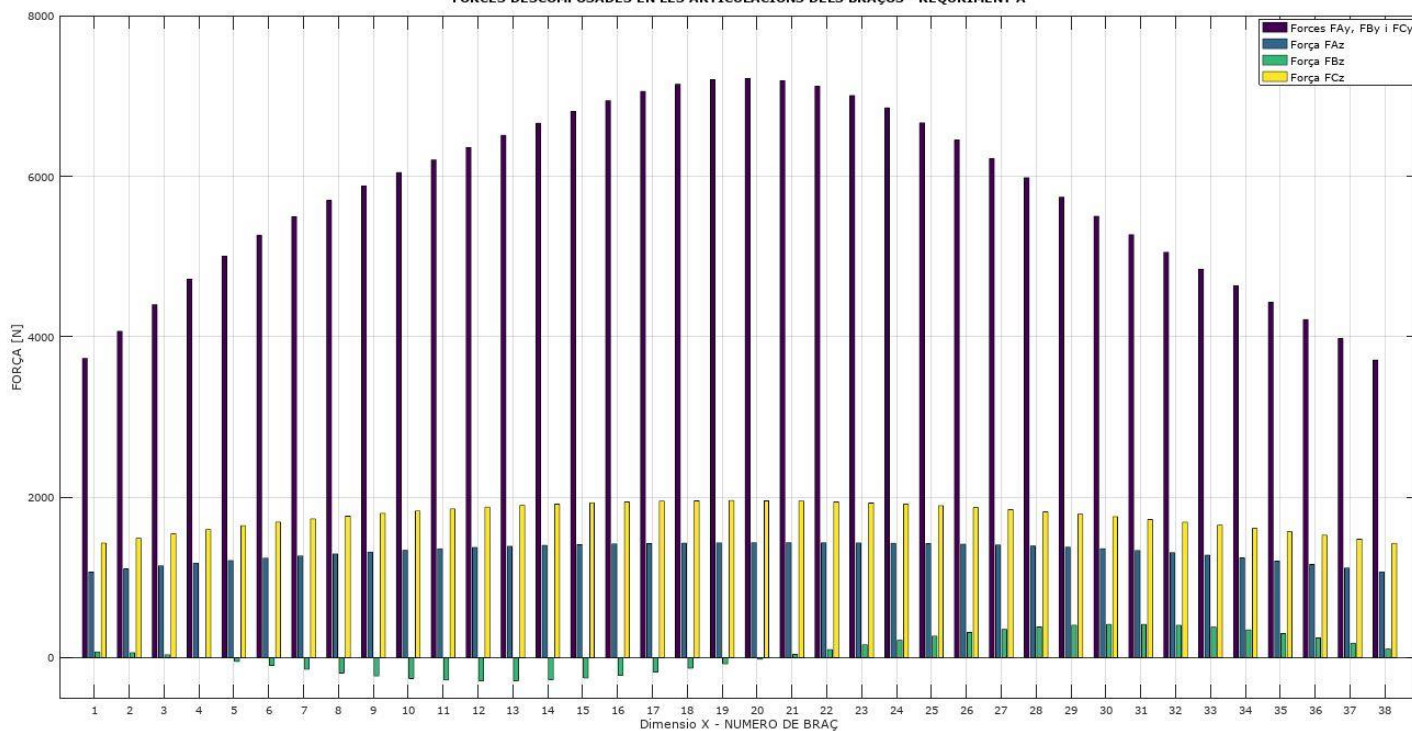
REQUERIMENT B = Moment en que l'estructura va a obrir-se activada pel mecanisme de cadenes/corretges dentades. No hi ha aplicada cap sobrecàrrega d'ús i l'única força que actua és el P.P. dels braços. La força horitzontal es contraresta en els ancoratges finals amb les cadenes.

S'observa en els dos gràfics que les forces horitzontals (forces en "y") guanyen molt més protagonisme que les verticals degut a la geometria intrínseca del pòrtic triarticulat. També cal destacar que el requeriment B, a partir del qual dimensionarem els elements mòbils de l'estructura, és de l'ordre de 8 vegades inferior al requeriment A.



Imatge 53 - Forces descomposades en les articulacions dels braços - Requeriment A

FORCES DESCOMPOSADAS EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS - REQUERIMENT A



Imatge 54 - Forces descomposades en les articulacions dels braços - Requeriment B

4.2.2 BULONS I ORELLES

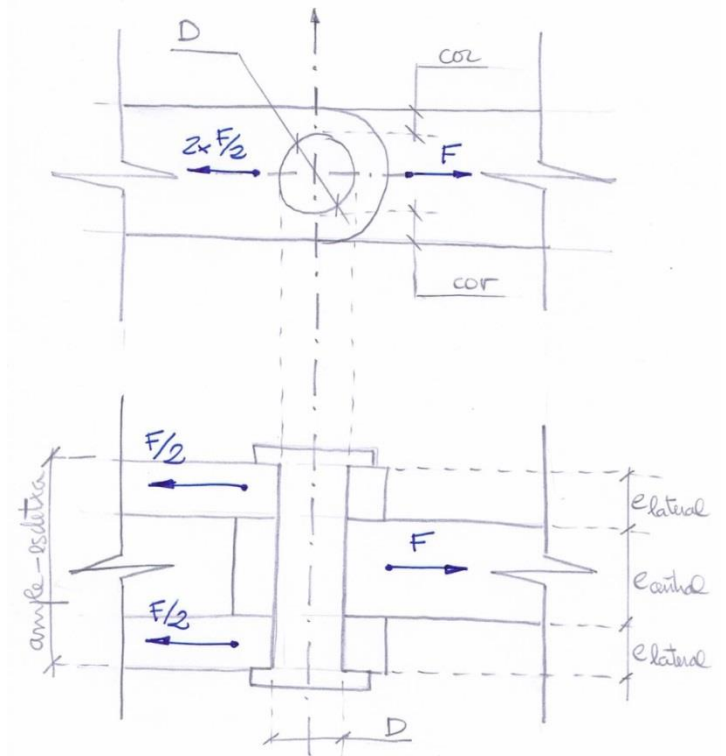
CRITERI DE DISSENY:

Els dissenys de les unions articulades en A, B i C tenen petites variacions entre si però totes responen al mateix criteri de disseny. En qualsevol punt dels diferents cossos en contacte la tensió equivalent de Von Mises no ha de ser mai superior a la tensió admissible.

$$(\sigma_{eq})_{max} < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resist}}{C_s}$$

$$e_{lateral} = \frac{ample - escletxa}{4}$$

$$e_{central} = \frac{ample - escletxa}{2}$$



Imatge 55 - Detall en planta i perfil d'una unió articulada tipus.

CÀLCUL I OPTIMITZACIÓ:

L'optimització consistirà en un càlcul iteratiu de les tensions normals i tangencials produïdes sobre cada element (buló i orelles) per diferents valors de "D" –diàmetre del buló- i "cor" –espessor de la corona de les orelles-. Es realitzarà aquest càlcul partint de les reaccions més desfavorables en els nusos (la hipòtesi de funcionament A i braç més llarg). Aquest càlcul es repetirà per a cadascuna de les 3 articulacions (A, B i C).

Per finalitzar, sobre una representació 3D es grafiaran les diferents combinacions de "D" i "cor" amb les tensions obtingudes. Les que no compleixin el criteri de disseny seran traslladades a $\sigma = 0$.

El primer que es fa en el càlcul és la composició de les forces en Y i en X aplicades en cada articulació.

$$F_{A\ max} = \sqrt{A_{z\ max}^2 + A_{y\ max}^2}$$

$$F_{B \max} = \sqrt{B_{z \max}^2 + B_{y \max}^2}$$

$$F_{C \max} = \sqrt{C_{z \max}^2 + C_{y \max}^2}$$

BULÓ: ESFORÇ TALLANT EN LA SECCIÓ DE CANVI ENTRE ORELLES

Per aquesta comprovació es negligeix l'esforç normal. ($\sigma_n \approx 0$)

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{F_t}{A_t}$$

$$\tau_{\text{buló}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\frac{F_i}{2}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{8}{3} \cdot \frac{F_i}{\pi \cdot D^2}$$

$$\sigma_{eq \text{ buló tallant}} = \sqrt{3 \cdot \tau_{\text{buló}}^2}$$

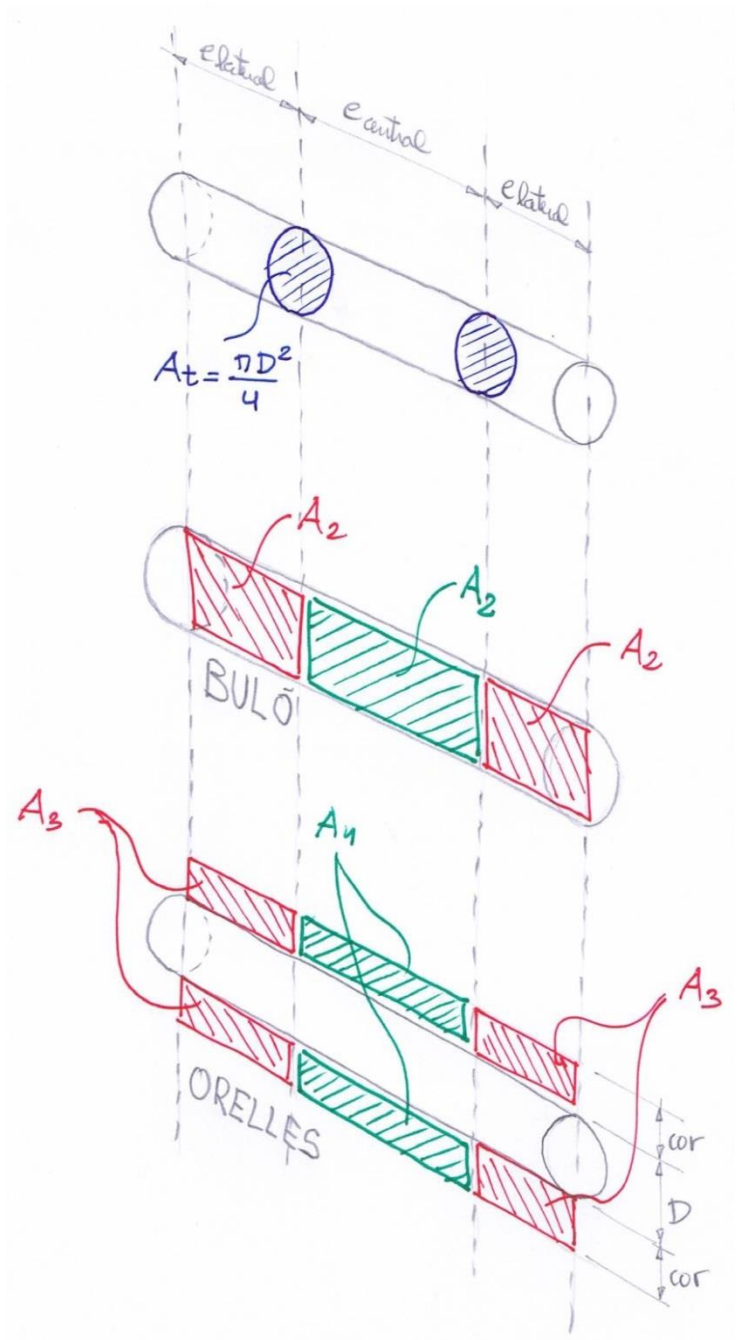
BULÓ: ESFORÇ NORMAL

Per aquesta comprovació es negligeix l'esforç tangencial. ($\tau = 0$)

$$\sigma_n = \frac{F}{A_2} = \frac{\frac{F}{2}}{A_1}$$

$$\sigma_n = \frac{F}{A_2} = \frac{F_i}{D \cdot e_{\text{central}}}$$

$$\sigma_{eq \text{ buló normal}} = \sigma_n$$



Imatge 56 - Estudi en secció d'una unió articulada buló-orelles. Àrees bàsiques per al càlcul

ORELLES: ESFORÇ NORMAL

Per aquesta comprovació es negligeix l'esforç tangencial. ($\tau = 0$)

$$\sigma_n = \frac{F_i}{A_4} = \frac{F_i}{A_3} = \frac{F_i}{2 \cdot e_{\text{central}} \cdot \text{cor}}$$

$$\sigma_{eq \text{ orelles normal}} = \sigma_n$$

ORELLES: ESFORÇ TALLANT

Per aquesta comprovació es negligeix l'esforç normal. ($\sigma_n \approx 0$)

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_t}{A_t}$$

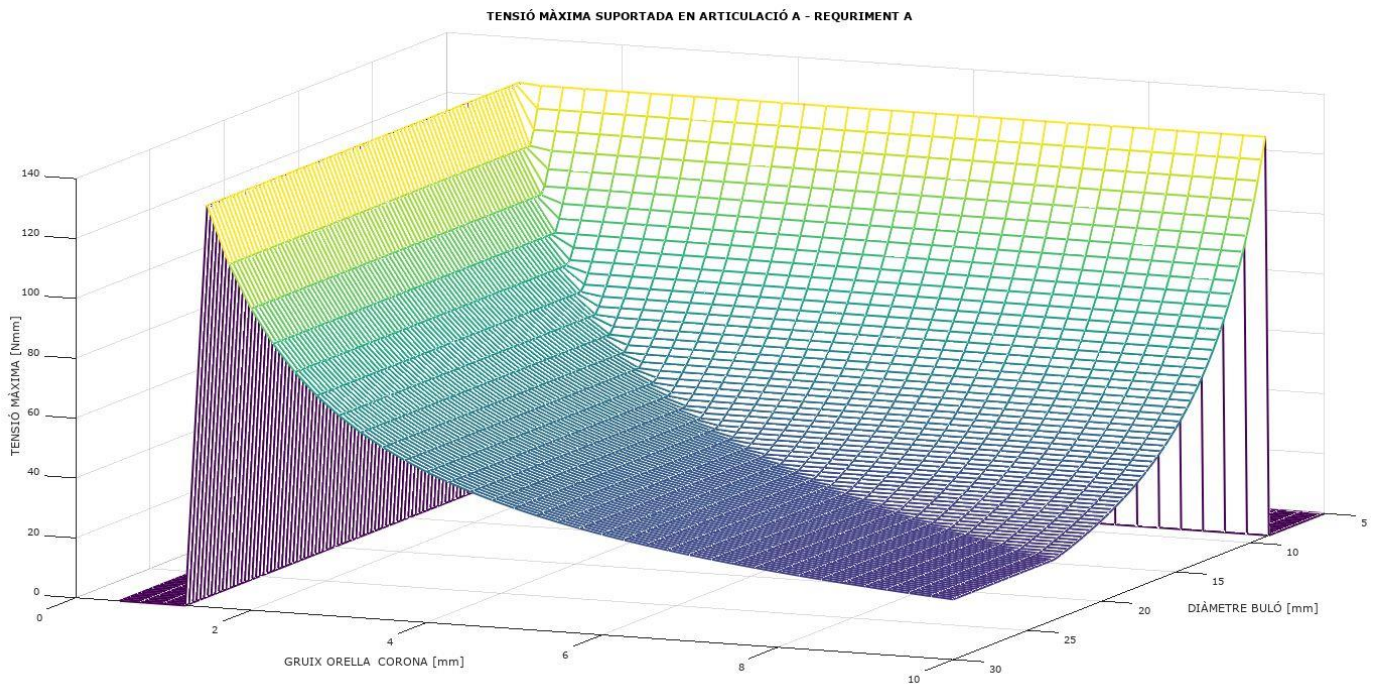
$$\tau_{orelles} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_t}{A_t} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_t}{\frac{A_4}{2}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F}{(cor \cdot e_{central})}$$

$$\tau_{orelles} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F}{(cor \cdot e_{central})}$$

$$\sigma_{eq \text{ orelles tallant}} = \sqrt{3 \cdot \tau_{orelles}^2}$$

RESULTATS I OBSERVACIONS:

La gràfica mostra primerament la independència entre una variable i una altra. Podria haver estat resolt per parts aquest problema. Els resultats s'han majorat fins per arribar a dimensions estàndards.



Imatge 57 - Tensions maximes suportades per cada combinació de "D" i "cor"

VALORS QUE OPTIMITZEN EL CÀLCUL:
cor (gruix transversal en les orelles) = 1'5 mm \approx 2 mm
D (diàmetre del buló) = 9 mm \approx 10 mm

4.2.3 CORREDERA

La corredera és l'element més complex del mecanisme. Es tracta d'un conjunt mòbil que es desplaça sense cap punt fix. Sobre seu s'apliquen unes forces o unes altres depenent de la situació en que es trobi el mecanisme (requeriment A o requeriment B). El primer que cal fer és discernir quan actua cada força i determinar-ne el seu valor segons un anàlisi estàtic del conjunt:

En l'anàlisi del REQUERIMENT A apareixeran les següent reaccions:

$$RY_1, RY_2, RY_3, RY_4$$

RZ_1, RZ_2, RZ_3, RZ_4

$$Mx_1, Mx_2, Mx_3, Mx_4$$

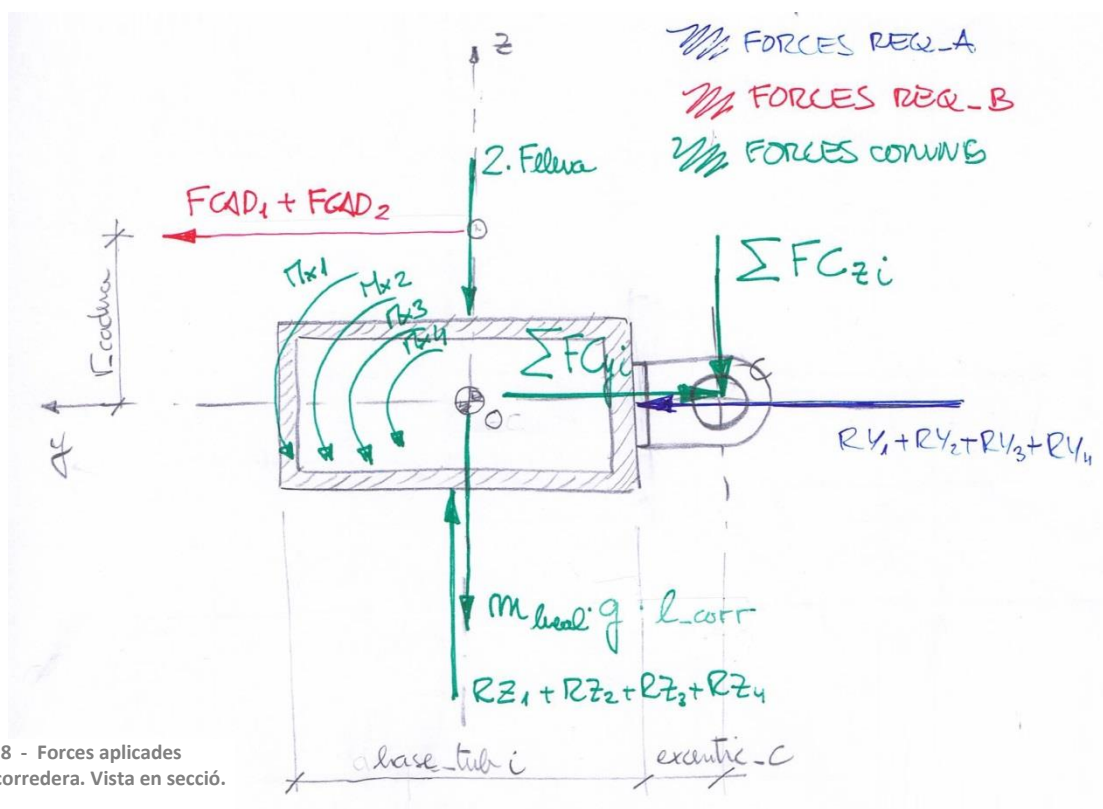
En l'anàlisi del REQUERIMENT B apareixeran les següent reaccions:

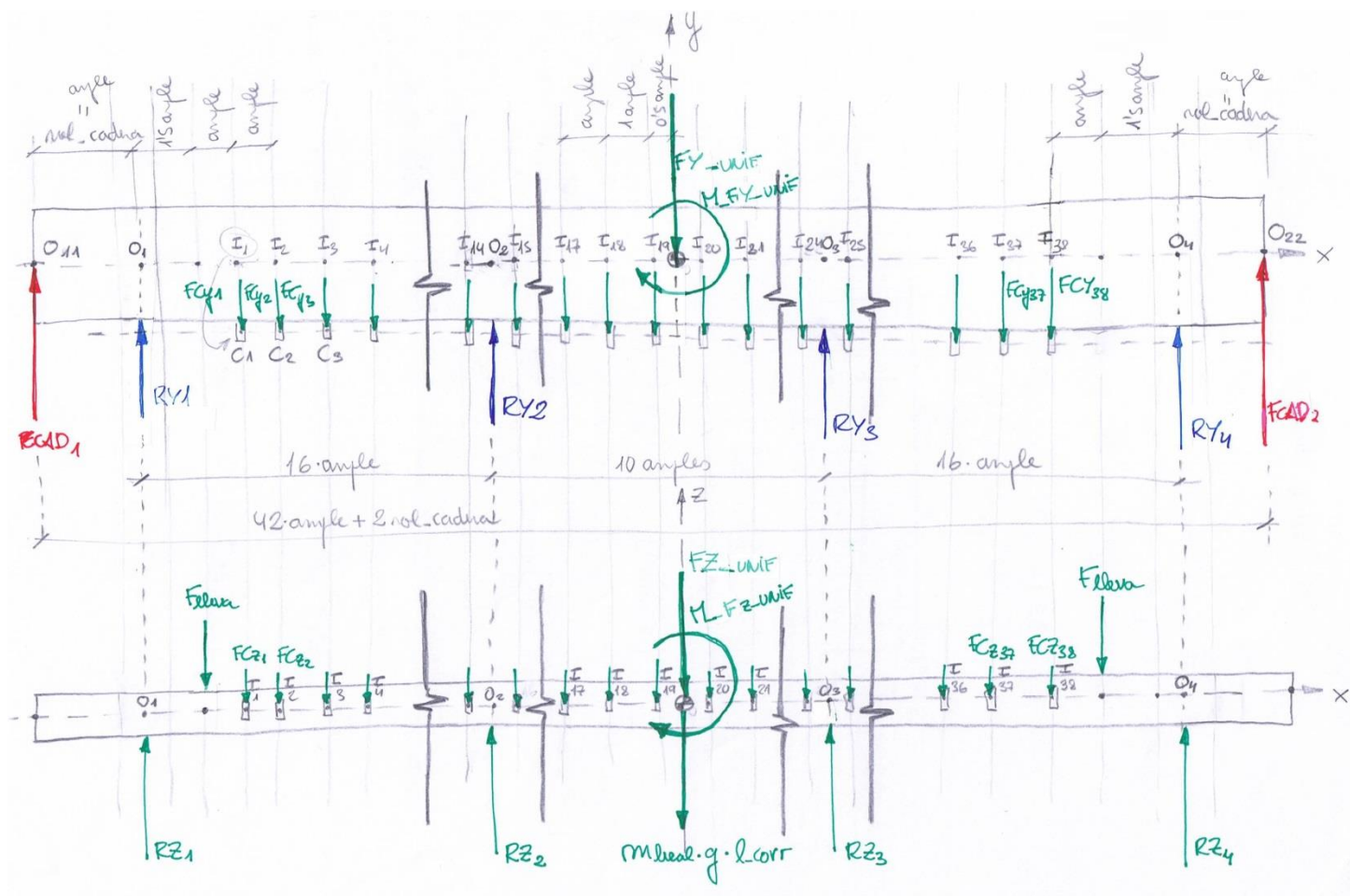
FCAD₁, FCAD₂

$$RZ_1, RZ_2, RZ_3, RZ_4$$

$$Mx_1, Mx_2, Mx_3, Mx_4$$

A continuació es mostren grafiades totes les forces que actuen sobre el sòlid rígida "corredora" a través d'una representació en secció planta i alçat:





Imatge 59 - Forces aplicades sobre la corredera. Vista en planta i alçat.

UNIFICACIONS I SIMPLIFICACIONS:

Per al càlcul de les reaccions de la corredera serà útil fer algunes simplificacions i/o unificacions de les forces que actuen sobre ella.

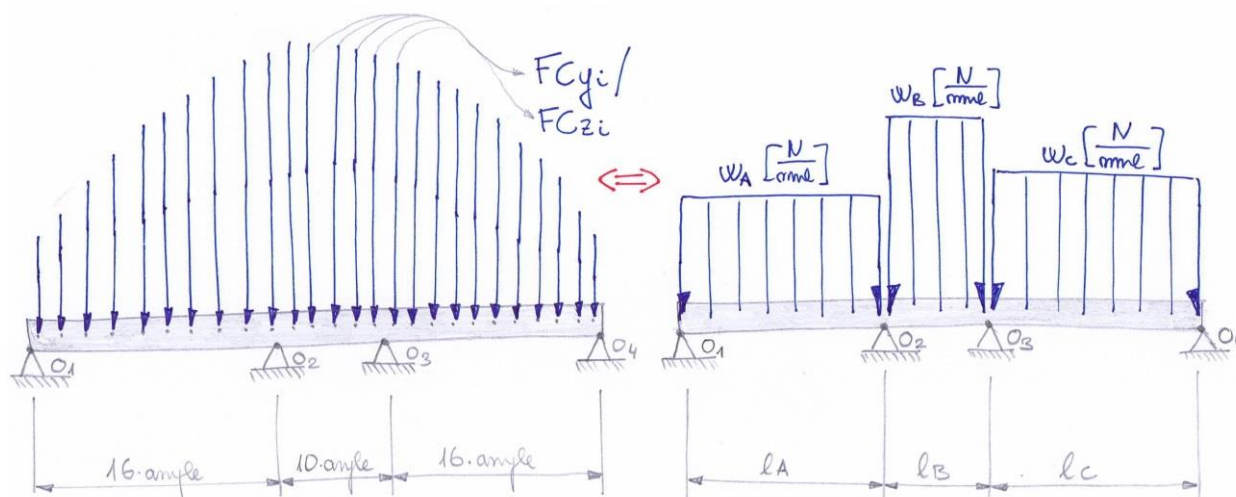
$$FY_{unif} = \sum_i FCy_i$$

$$M_{FY_{unif}} = \sum_i [FCy_i \cdot (posició_i)]$$

$$wA_y = \frac{|\sum FY_{tram} l_A|}{l_A} = \frac{\sum_{i=1}^{14} FCy_i}{16 \cdot ample} \quad [N/mm]$$

$$wB_y = \frac{|\sum FY_{tram} l_B|}{l_B} = \frac{\sum_{i=15}^{24} FCy_i}{10 \cdot ample} \quad [N/mm]$$

$$wC_y = \frac{|\sum FY_{tram} l_C|}{l_C} = \frac{\sum_{i=25}^{38} FCy_i}{16 \cdot ample} \quad [N/mm]$$



Imatge 60 - Simplificació de forces aplicades sobre la corredera. Vàlid per a la direcció "y" i "z" i pels requeriments A i B

$$wA_z = \frac{\sum_{i=1}^{14} FCzi + F_{lleve} + m_{lineal} \cdot l_A \cdot g}{l_A} \quad [N/mml]$$

$$wB_z = \frac{\sum_{i=15}^{24} FCzi + m_{lineal} \cdot l_A \cdot g}{l_B} \quad [N/mml]$$

$$wC_z = \frac{\sum_{i=25}^{38} FCzi + F_{lleve} + m_{lineal} \cdot l_A \cdot g}{l_C} \quad [N/mml]$$

CÀLCUL DE LES REACCIONS "RY" I "RZ":

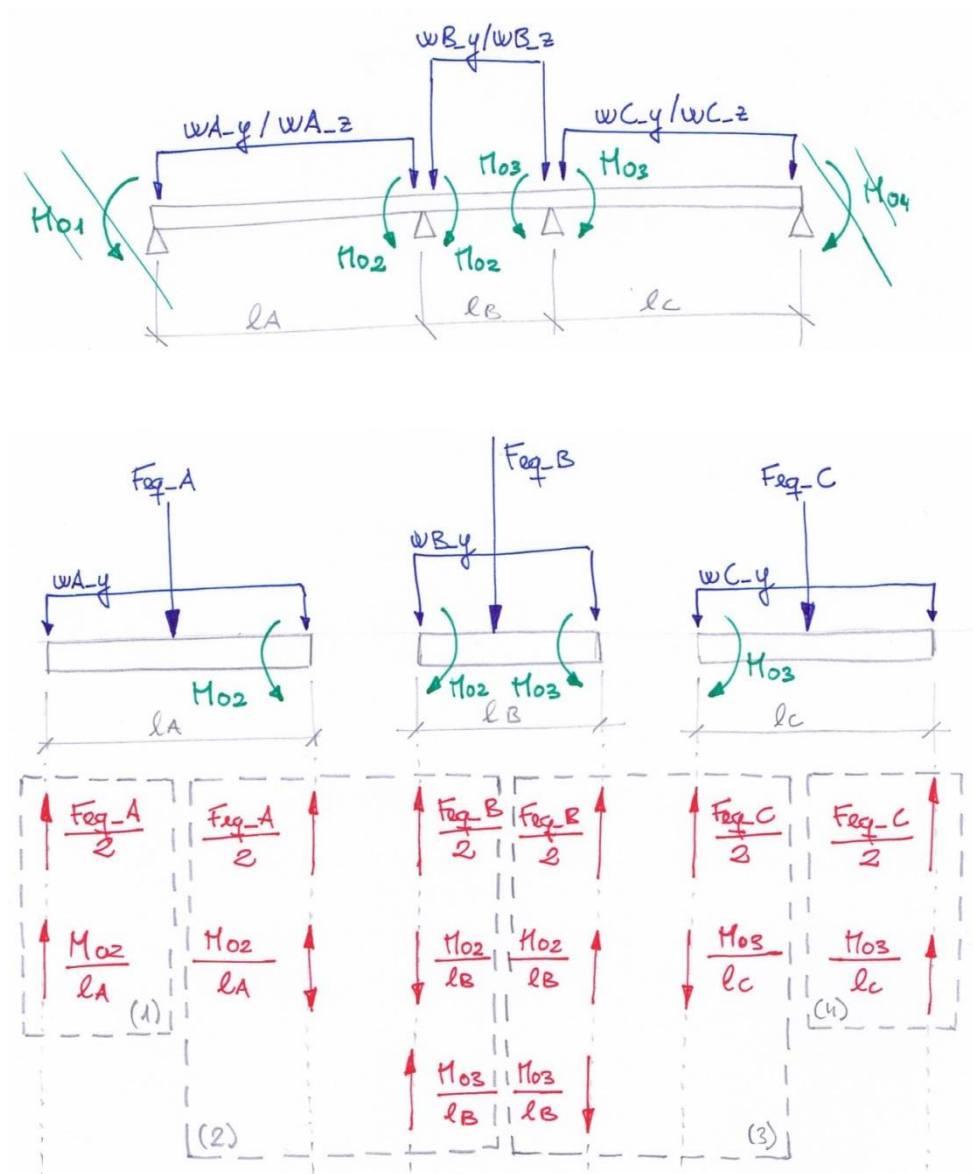
Aquest procediment de càlcul és vàlid tan per la determinació de les reaccions "RZ" i "RY" en el requeriment A com en les reaccions "RZ" del requeriment B. En aquesta situació d'anàlisi estàtic apareixen certes indeterminacions en la resolució pel mètode clàssic (segona llei de newton) i cal aplicar un mètode específic per a barres articulades amb 3 vanos; el "mètode dels 3 moments".

MÈTODE DELS 3 MOMENTS

$$M_1 \cdot l_1 + 2M_2(l_1 + l_2) + M_3 \cdot l_2 = -R - L$$

éssent R i L...

$$R = L = \frac{1}{4} \cdot w \cdot l^3$$



Imatge 61 - Aplicació del mètode dels 3 moments en la corredera del mecanisme

Aplicació del mètode als 2 primers vanos:

$$M_{02} \cdot l_A + 2M_{02}(l_A + l_B) + M_{03} \cdot l_B = -\frac{1}{4}w_{Ay} \cdot l_A^3 - \frac{1}{4}w_{By} \cdot l_B^3$$

Aplicació del mètode als 2 últims vanos:

$$M_{02} \cdot l_B + 2M_{03}(l_B + l_C) + M_{04} \cdot l_C = -\frac{1}{4}w_{By} \cdot l_B^3 - \frac{1}{4}w_{Cy} \cdot l_C^3$$

Simplificació sabent que M_{01} i M_{04} són nuls (final de barra en punt articulat):

$$2(l_A + l_B) \cdot M_{02} + l_B \cdot M_{03} = -\frac{1}{4}(w_{Ay} \cdot l_A^3 + w_{By} \cdot l_B^3)$$

$$l_B \cdot M_{02} + 2(l_B + l_C) \cdot M_{03} = -\frac{1}{4}(w_{By} \cdot l_B^3 + w_{Cy} \cdot l_C^3)$$

Resolució del sistema compatible determinat (2 eq. + 2 incog.):

$2(l_A + l_B)$	l_B	x	M_{O2}	=	$-\frac{1}{4}(wA_y \cdot l_A^3 + wB_y \cdot l_B^3)$
l_B	$2(l_B + l_C)$		M_{O3}		$-\frac{1}{4}(wB_y \cdot l_B^3 + wC_y \cdot l_C^3)$
MAT_COEF.			INCOG. [Nmm]		TERM. INDEP.

Un cop s'han determinat els moments interns de la barra, es separen els 3 vanos de l'estructura i s'analitza cada un per separat. En acabat s'associen les forces aplicades en cada nus per a trobar les reaccions:

$$Feq_A = wA_y \cdot l_A \quad // \quad Feq_B = wB_y \cdot l_B \quad // \quad Feq_C = wC_y \cdot l_C$$

$$RY_1 = Feq_A/2 + M_{O2}/l_A$$

$$RY_2 = Feq_A/2 + Feq_B/2 - M_{O2}/l_A - M_{O2}/l_B + M_{O3}/l_B$$

$$RY_3 = Feq_B/2 + Feq_C/2 + M_{O2}/l_B - M_{O3}/l_C - M_{O3}/l_C$$

$$RY_4 = Feq_C/2 + M_{O3}/l_C$$

CÀLCUL DE LES REACCIONS "FCAD":

Les reaccions FCAD₁ i FCAD₂ fan referència a la força horitzontal que es necessita aplicar sobre la corredera per començar a plegar el mecanisme des de l'estat de repòs –Requeriment B-. Aquesta força l'apliquen les cadenes o corretges dentades que es fixen a extrem i extrem de la corredera. Es pot trobar directament realitzant un sumatori de moments en qualsevol d'aquests punts d'ancoratge.

$$\sum (Mz)_{O11} = 0$$

$$M_{FY_{unif}} + FY_{unif} \cdot (21ample + vol_{cadena}) - FCAD_2 \cdot (42ample + 2vol_{cadena}) = 0$$

$$FCAD_2 = \frac{M_{FY_{unif}} + FY_{unif} \cdot (21ample + vol_{cadena})}{(42ample + 2vol_{cadena})}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$FCAD_1 = FY_{unif} - FCAD_2$$

CÀLCUL DELS MOMENTS "Mx":

Els moments Mx_1, Mx_2, Mx_3 i Mx_4 són els moments en "x" que s'apliquen a la corredera a través dels carrillets que es desplacen resseguint les 4 bigues transversals. Aquestes accions impossibiliten que la corredera giri sobre si mateixa i es tombi. Per a simplificar el càlcul assumim que els 4 moments tenen el mateix valor.

ASSUMPCIÓ: Mx = Mx_1 = Mx_2 = Mx_3 = Mx_4

CÀLCUL DEL MOMENT "Mx" PER AL REQUERIMENT A:

$$\sum (Mx)_o = 0$$

$$\sum_i FCzi \cdot \left(\frac{base_tub_j}{2} + excentric_C \right) - (Mx_1 + Mx_2 + Mx_3 + Mx_4) = 0$$

$$Mx = \frac{\sum_i FCzi \cdot \left(\frac{base_tub_j}{2} + excentric_C \right)}{4}$$

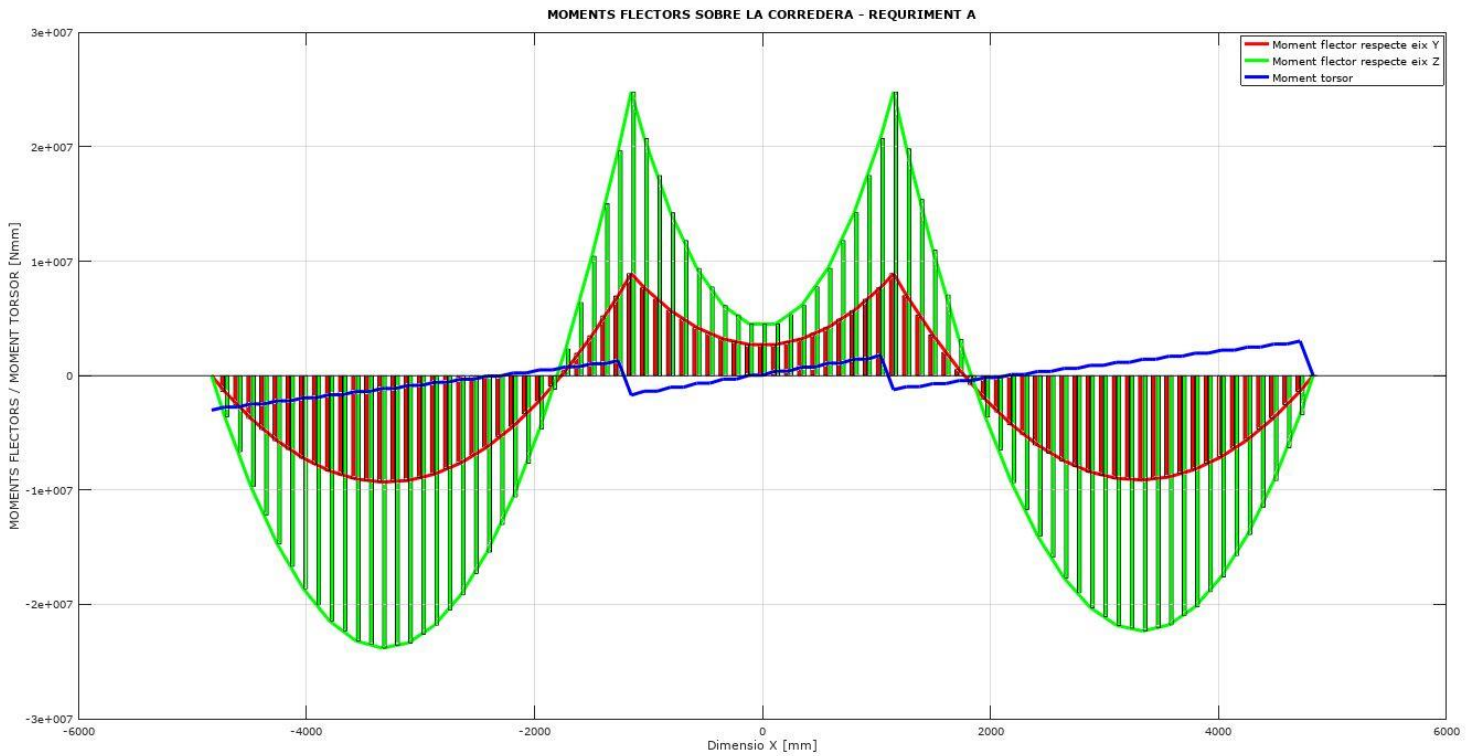
CÀLCUL DEL MOMENT "Mx" PER AL REQUERIMENT B:

$$\sum (Mx)_o = 0$$

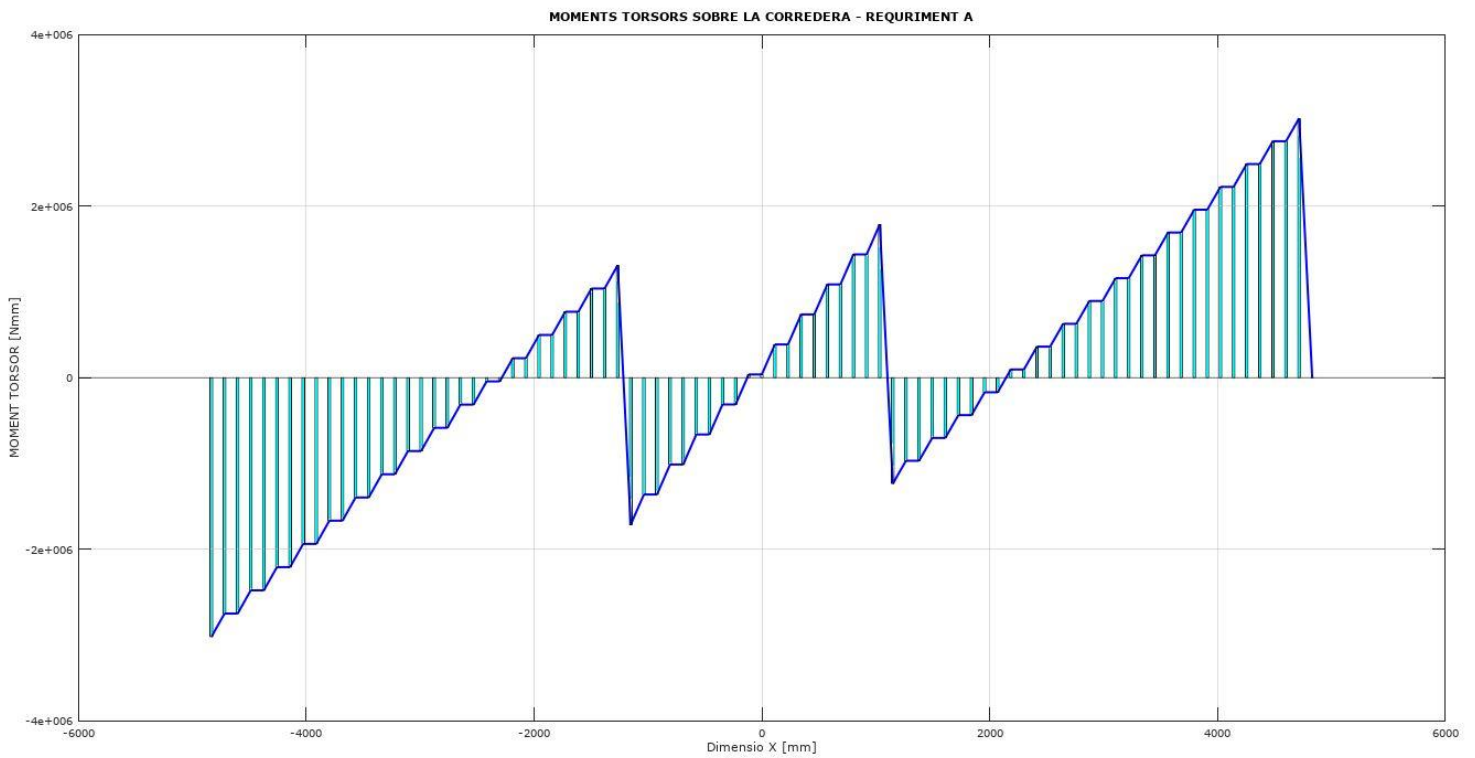
$$\sum_i FCzi \cdot \left(\frac{base_tub_j}{2} + excentric_C \right) - (FCAD_1 + FCAD_2) \cdot r_{cadena} - (Mx_1 + Mx_2 + Mx_3 + Mx_4) = 0$$

$$Mx = \frac{\sum_i FCzi \cdot \left(\frac{base_tub_j}{2} + excentric_C \right) - (FCAD_1 + FCAD_2) \cdot r_{cadena}}{4}$$

DIAGRAMES DE MOMENTS:



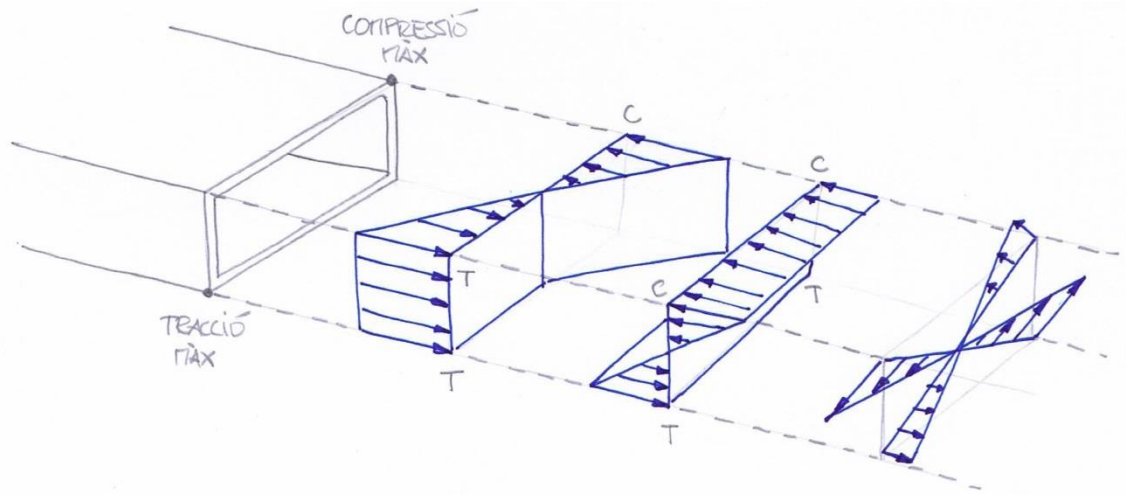
Imatge 63 - Diagrames de moments flectors respecte eix Y i Z i diagrama de moment torsor. Requeriment A



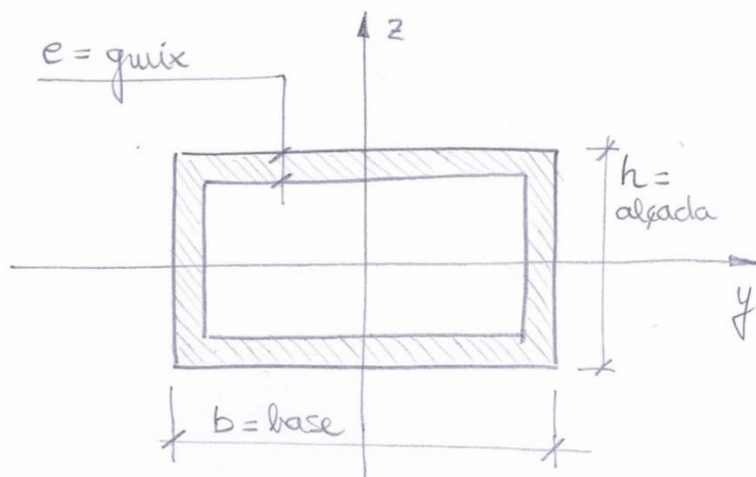
Imatge 62 - Diagrama de moment torsor. Requeriment A

CÀLCUL DE TENSIONS:

Es busca trobar les tensions generades en el punt més desfavorable de la secció. Aquest correspondrà a un dels vèrtex de la secció quadrada on es sumen les tensions relatives als moments flectors en les dos direccions transversals ("y" i "z"). Després d'un primer tanteig, s'ha desestimat el càlcul de les tensions tangencials (tallant i torsor) degut al poc pes que aquestes representen dins del total.



Imatge 64 - Tensions generades sobre una secció de la corredera. Flexió en "y", flexió en "z" i torsió



Imatge 65 - Dimensions bàsiques de la secció de la corredera

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{(b - 2e) \cdot (h - 2e)^3}{12} \quad [mm^4]$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} - \frac{(h - 2e) \cdot (b - 2e)^3}{12} \quad [mm^4]$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_{max}} = \frac{I_y}{h/2} \quad [mm^3]$$

$$W_z = \frac{I_z}{y_{max}} = \frac{I_z}{h/2} \quad [mm^3]$$

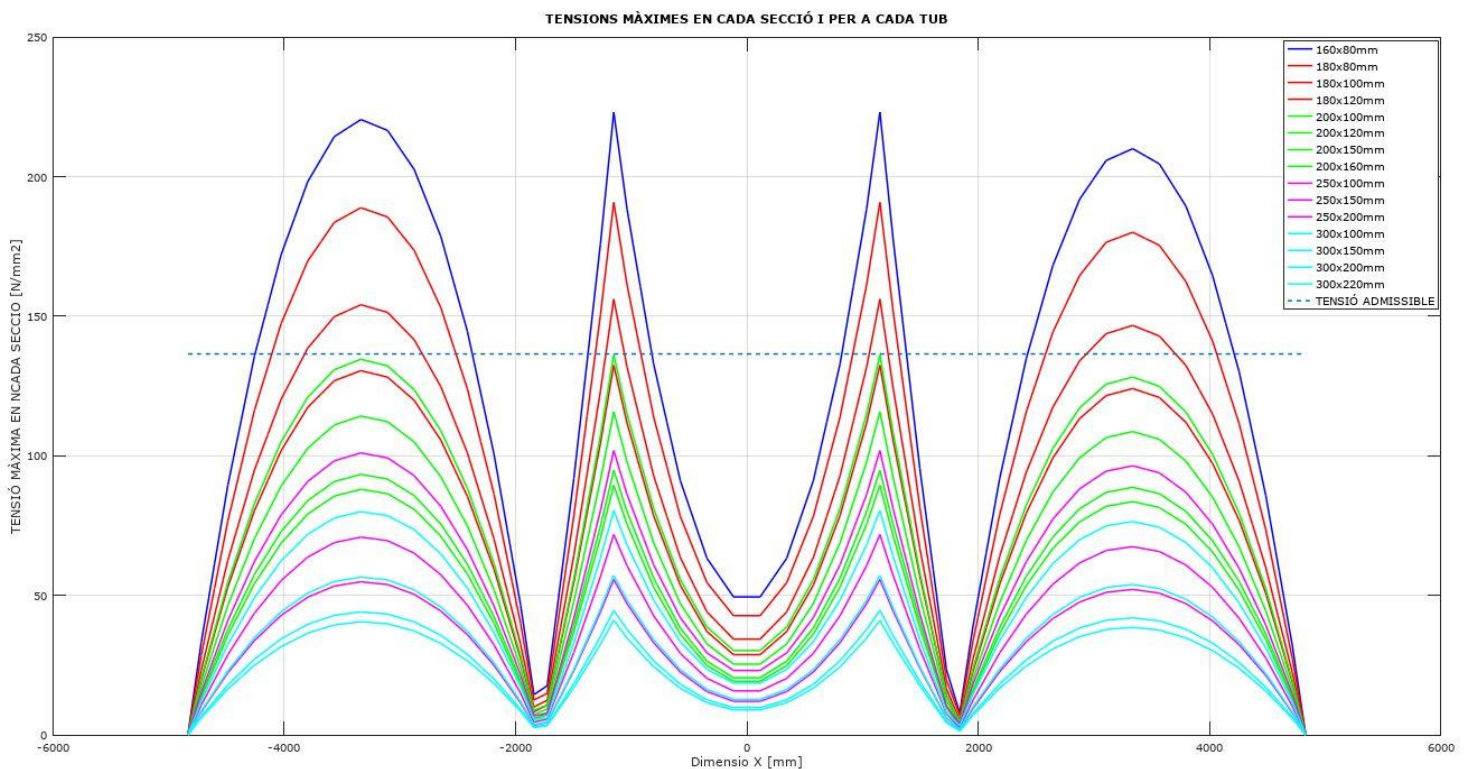
$$\sigma_{degut a Mf eix Z i} = \frac{M_{f eix Z} i}{W_z} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{degut a Mf eix Y i} = \frac{M_{f eix Y} i}{W_y} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{max i} = \sigma_{degut a Mf eix Z i} + \sigma_{degut a Mf eix Y i} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{max i} < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resist}}{C_s} \quad [N/mm^2]$$

Aquest procés de càlcul l'aplicarem per a cada posició de "x". La secció serà continua al llarg de l'eix però les sol·licitacions degudes als moments flectors variaran. A més a més, repetirem el càlcul per a diferents seccions comercials de tub rectangular –Img. 67-. Degut a la major rellevància dels esforços horitzontals en l'articulació C, optem per a posicionar el perfil rectangular pla, amb el costat ample en posició horitzontal.



Imatge 66 - Tensions màximes generades en cada secció de la corredera. Anàlisi per cadascuna de les seccions comercials de tub rectangular. Superposició amb el valor de tensió admissible

PESO EN KG/M PARA ESPESORES DE:

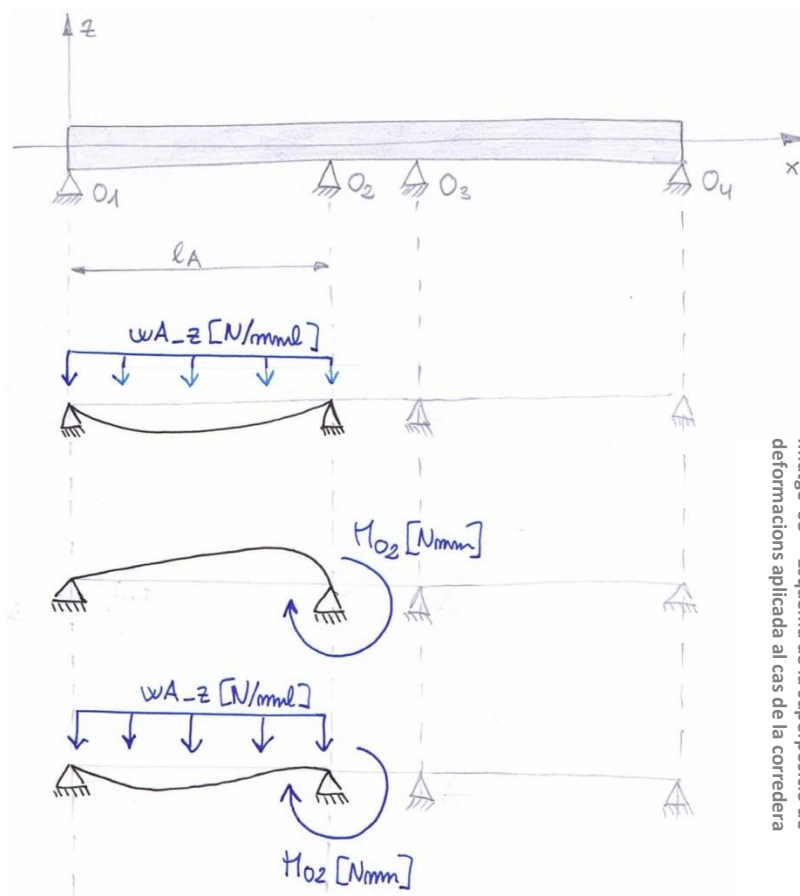
Espeor (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	12,5
70x25	-	2,29	2,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70x30	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,10	-	-	-	-	-
70x40	-	2,64	3,45	4,91	6,32	7,63	8,84	-	-	-	-	-
70x50	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	9,83	-	-	-	-	-
80x20	-	2,37	3,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80x30	-	2,64	3,45	4,91	6,32	-	-	-	-	-	-	-
80x40	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	-	-	-	-	-	-
80x45	-	-	-	5,64	7,30	-	-	-	-	-	-	-
80x50	-	3,14	4,11	5,89	7,63	9,27	10,82	-	-	-	-	-
80x60	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
90x20	-	2,64	3,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90x30	-	2,87	3,79	5,40	6,98	-	-	-	-	-	-	-
90x40	-	3,14	4,11	5,89	7,63	9,27	-	-	-	-	-	-
90x50	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
100x20	-	2,94	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100x30	-	3,14	4,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100x40	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-	-
100x50	-	3,59	4,76	6,86	8,93	10,92	12,79	-	-	-	-	-
100x60	-	-	5,09	7,35	9,59	11,75	13,73	-	17,16	-	-	-
100x80	-	-	5,74	8,33	10,92	13,31	15,70	-	19,76	-	-	-
110x70	-	-	-	8,33	10,92	-	-	-	-	-	-	-
120x40	-	-	5,09	7,35	9,59	11,75	13,73	-	17,16	-	-	-
120x50	-	-	-	7,84	10,24	-	-	-	-	-	-	-
120x60	-	-	5,74	8,33	10,92	13,31	15,70	-	19,76	-	-	-
120x80	-	-	-	9,32	12,17	14,98	17,68	21,11	22,36	26,73	-	-
120x100	-	-	-	10,30	13,52	16,64	22,88	-	-	-	-	-
140x60	-	-	-	9,32	12,17	14,98	17,68	21,11	22,36	-	-	-
140x80	-	-	-	10,30	13,52	16,64	19,66	22,88	24,96	29,85	-	-
140x100	-	-	-	11,23	14,82	18,30	21,42	25,58	27,56	-	-	-
150x100	-	-	-	11,75	15,58	19,83	22,97	26,52	30,16	-	-	-
160x80	-	-	-	11,23	14,77	18,20	21,53	25,58	27,56	33,28	37,44	38,48
160x120	-	-	-	13,21	17,47	21,53	25,48	30,16	34,01	-	-	-
160x140	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	-	36,40	-	-	-
180x80	-	-	-	12,27	16,12	19,97	23,50	-	30,06	36,40	41,18	42,54
180x100	-	-	-	13,21	17,47	21,53	25,48	30,16	34,01	39,73	45,24	46,80
180x120	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	32,45	36,40	43,16	49,40	50,96
180x140	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	34,63	39,31	-	-	-
200x100	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	32,45	36,40	43,16	49,40	50,96
200x120	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	34,63	39,31	46,28	53,04	54,81
200x150	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	38,06	43,06	51,48	59,28	61,05
200x160	-	-	-	17,16	22,67	28,08	33,38	-	43,16	52,73	60,84	62,92
250x100	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	38,06	43,06	51,48	59,28	61,05
250x150	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	-	48,36	59,28	68,64	71,03
250x200	-	-	-	-	28,50	35,36	42,12	-	54,91	67,39	78,42	81,22
300x100	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	-	48,36	59,28	68,64	71,03
300x150	-	-	-	-	28,50	35,36	42,12	-	54,91	67,39	78,42	81,22
300x200	-	-	-	-	-	39,52	47,01	-	61,46	75,61	88,19	91,52
300x220	-	-	-	-	-	41,08	48,98	-	64,06	78,83	92,14	95,58

Imatge 67 - Catàleg de perfils rectangulars d'acer laminat en fred. De la cada METALCO. Senyalització dels casos d'estudi.

CÀLCUL DE DEFORMACIONS – FLETXA MÀXIMA:

A l'hora de quantificar les deformacions de la corredera s'ha optat per fer un únic estudi del que creiem serà el cas més desfavorable de tots. La fletxa produïda en un dels vanos amples de l'element. El primer vano. En aquest cas s'ha fixat una fletxa màxima de $L/250$.

Una de les coses a tindre en compte és que la deformada d'aquest primer vano dependrà també de la resta de la corredera. No es tracta d'un element simple que puguem analitzar aïlladament. Caldrà superposar dos tipus de deformades: La fletxa produïda per la carga uniforme sobre el vano biarticulat, i la fletxa positiva produïda pel moment intern en l'articulació O_2 . La Img. 68 mostra gràficament aquest procediment.



Imatge 68 - Esquema de la superposició de deformacions aplicada al cas de la corredera

SUPERPOSICIÓ DE FLETXES EN BIGUES BIARTICULADES:

$$\text{Carga uniformement repartida: } z_{AB} = \frac{q \cdot x}{24EI} (x^3 - 2Lx^2 + L^3)$$

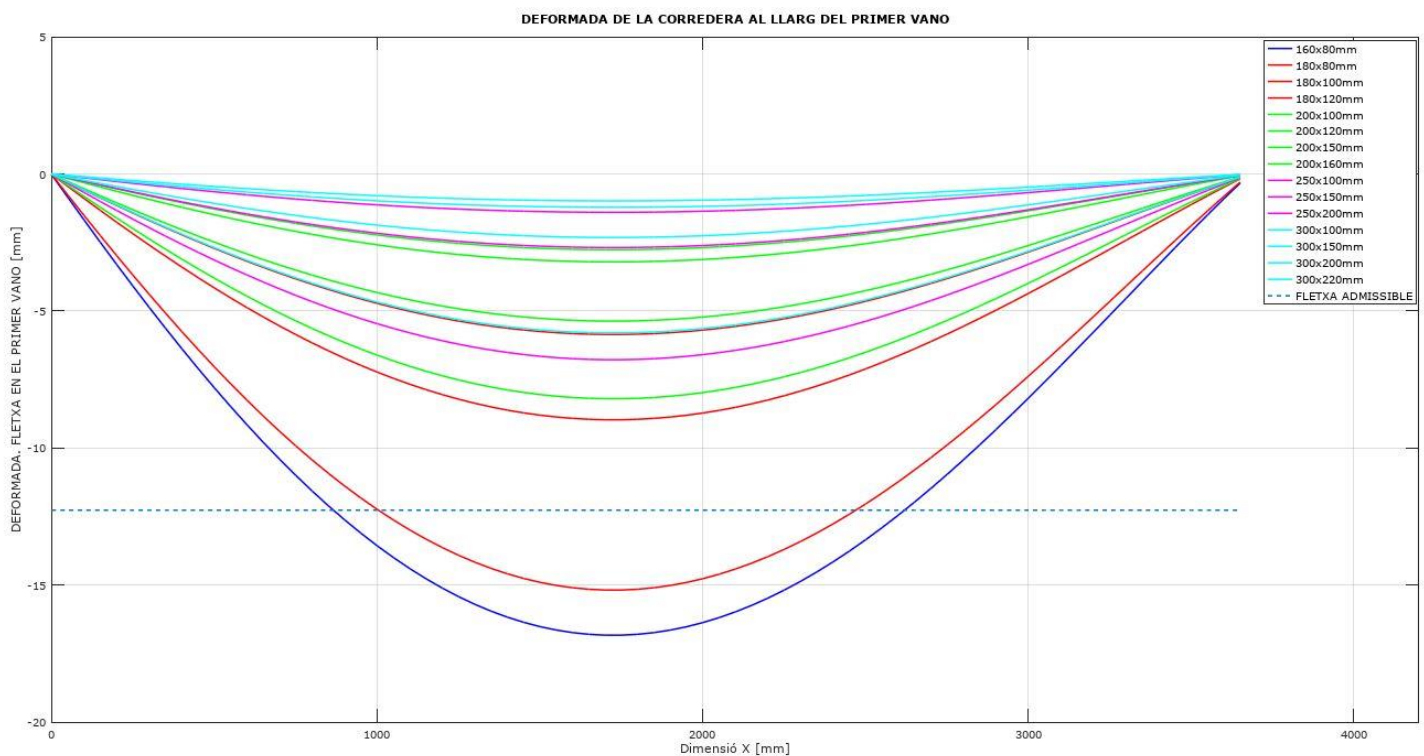
$$\text{Moment en un extrem: } z_{AB} = -\frac{ML}{6EI} (L - x) \cdot \left[1 - \left(\frac{L - x}{L} \right)^2 \right]$$

Sumant les dues fórmules anteriors tenim una expressió depenent de “i” i “j” que ens servirà per a fabricar un gràfic comparatiu entre les deformades dels diferents perfils rectangulars que estem estudiant.

la variable “i” : fa referència a cada tipus de perfil rectangular de secció diferent

la variable “j” : fa referència a cada posició en “x” dins del primer vano de la corredera

$$z_{AB} = + \frac{M_{O2} \cdot l_A}{6 \cdot E \cdot I_{yi}} (l_A - x_j) \cdot \left[1 - \left(\frac{l_A - x_j}{L l_A} \right)^2 \right] - \frac{q \cdot x_j}{24 \cdot E \cdot I_{yi}} (x_j^3 - 2l_A x_j^2 + l_A^3)$$



Imatge 69 - Deformada de la corredera al llarg del primer vano. Comparativa per a diferents perfils de secció rectangular. Superposició amb el valor de la deformada màxima admissible

SECCIÓ QUE OPTIMITZA EL CàLCUL:

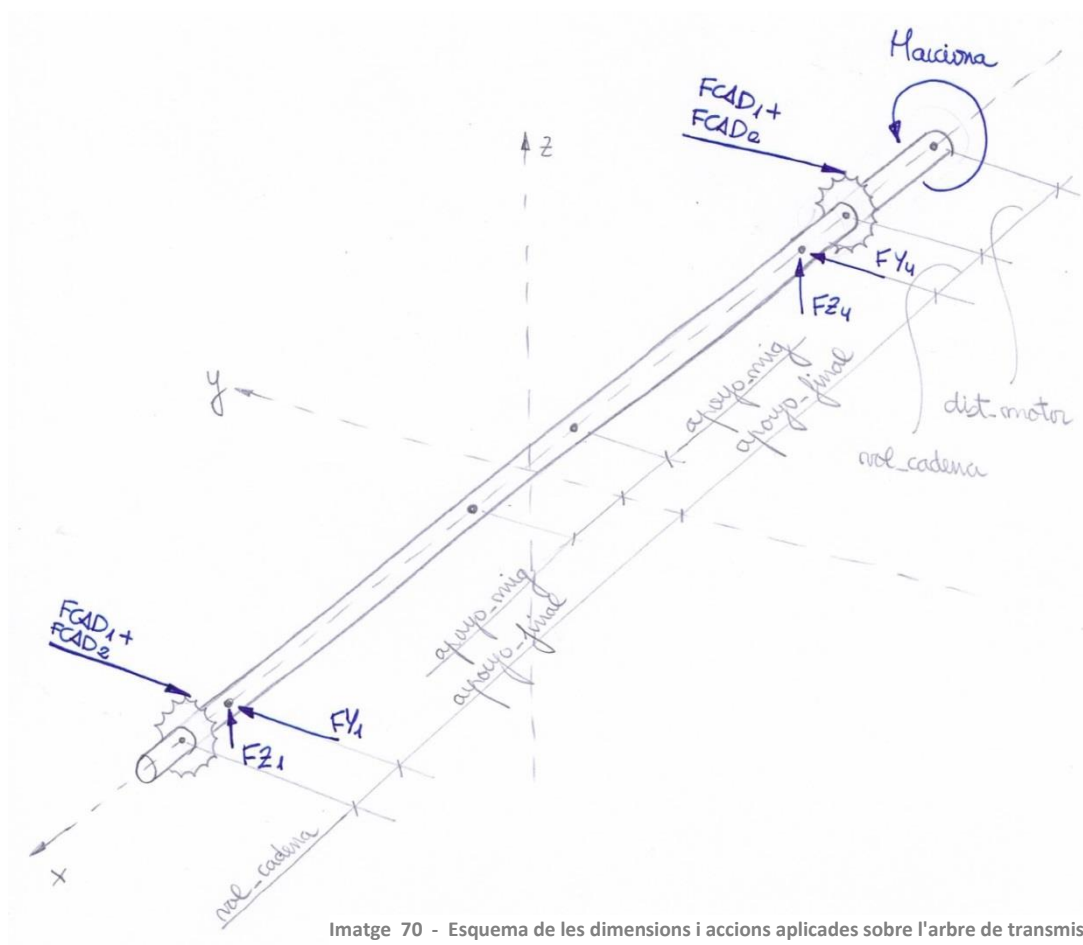
El perfil rectangular més lleuger que compleix amb els requisits de tensió i deformació admissibles és el de 200x100x10mm

4.2.4 ARBRE DE TRANSMISSIÓ

L'arbre de transmissió del mecanisme té la funció de transmetre el moment aplicat pel motor ($M_{acciona}$) a les cadenes/corretges dentades que s'encarreguen de desplaçar les correderes cap un costat i cap a l'altre. En aquest cas, la variable d'entrada no és la força aplicada pel conjunt motor-reductor, sinó les forces requerides per les cadenes per a que el mecanisme comenci a moure's.

El mecanisme està dissenyat de tal manera que a banda i banda de pla XZ hi ha una simetria respecte l'origen amb els mateixos elements i forces. Com que cada cadena esta fixada a les dos corretges, aquestes recullen tant la força $FCAD_1$ d'una d'elles i la força $FCAD_2$ de l'altra. Les sol·licituds en els punts d'engrenatge amb l'arbre de transmissió són iguals per una cadena que per l'altra ($FCAD_1 + FCAD_2$).

Es plantegen únicament dos reaccions en l'arbre de transmissió -punts O_1 i O_4 - tal i com mostra l'esquema adjunt. Aquestes reaccions es fixaran a l'ànima de les bigues transversals amb rodaments cònics. Aquests es posicionaran en sentit oposat l'un amb l'altre per a impedir el desplaçament longitudinal de l'arbre.



Imatge 70 - Esquema de les dimensions i accions aplicades sobre l'arbre de transmissió

ASSUMPCIONS:

1. Els rodaments no generaran moment resistent.
2. El pes propi de l'arbre de transmissió –PP– es considera negligible a causa de la importància de les accions que actuen sobre ell. Degut a que no n'hi ha cap en la direcció vertical (direcció "z"), resollem que:

$$FZ_1 \approx 0$$

$$FZ_4 \approx 0$$

3. En els punts O_2 i O_3 en què l'arbre travessa les bigues centrals no s'indica cap recolzament.

PROCÈS DE CÀLCUL:

Partint d'aquestes premisses es vol arribar a conèixer el moment que em d'aplicar a l'extrem de l'arbre de transmissió per a que el mecanisme comenci a plegar-se ($M_{acciona}$). Aquest valor ens serviria en un futur per a dimensionar el conjunt motor-reductor encarregat de tots els moviments del mecanisme. Hauria de ser una màquina amb capacitat d'inversió de gir.

A més a més, aquest apartat té la funció de dimensionar el propi element d'estudi: l'arbre de transmissió. Per això es calcularan les reaccions, els moments i les tensions equivalents de Von Mises en les seccions més delicades de l'arbre. En acabat es comprovarà que les tensions resultants de càlcul no excedeixin el valor admissible. Aquest procés de càlcul es realitzarà per a un ventall de seccions circulars que oscil·larà entre els 40mm i els 200mm de diàmetre, amb un increment d'1mm.

Finalment es seleccionarà el valor de diàmetre que minimitza la secció complint amb totes les comprovacions.

CÀLCUL REACCIONS:

$$\sum (M_z)_{O1} = 0$$

$$(FCAD_1 + FCAD_2) \cdot (2_{apoyo\ final} + vol_{cadena}) - (FCAD_1 + FCAD_2) \cdot vol_{cadena} - FY_4 \cdot (2_{apoyo\ final}) = 0$$

$$FY_4 = \frac{(FCAD_1 + FCAD_2) \cdot (2_{apoyo\ final} + vol_{cadena} - vol_{cadena})}{(2_{apoyo\ final})}$$

$$FY_4 = FY_1 = FCAD_1 + FCAD_2 \quad [N]$$

DIAGRAMA MOMENTS TORSORS:

$$M_T = (FCAD_1 + FCAD_2) \cdot r_{cadena}$$

$$M_{acciona} = 2 \cdot M_T$$

DIAGRAMA MOMENT FLECTORS EIX Z:

$$(Mfx)_o = (FCAD_1 + f_{cad_2}) \cdot vol_{cadena}$$

TENSIONS MÀXIMES EN SECCIÓ O:

$$(\sigma_{bmax})_o = \frac{(Mb)_o}{(Wb)_o} = \frac{(Mfz)_o}{0'1 \cdot D_{central}^3} \quad [N/mm^2]$$

$$(\tau_{tmax})_o = \frac{(Mt)_o}{(Wt)_o} = \frac{M_T}{0'2 \cdot D_{central}^3} \quad [N/mm^2]$$

$$(\sigma_{eq})_o = \sqrt{(\sigma_{bmax})_o^2 + 3(\tau_{tmax})_o^2} \quad [N/mm^2]$$

TENSIONS MÀXIMES EN SECCIÓ C2:

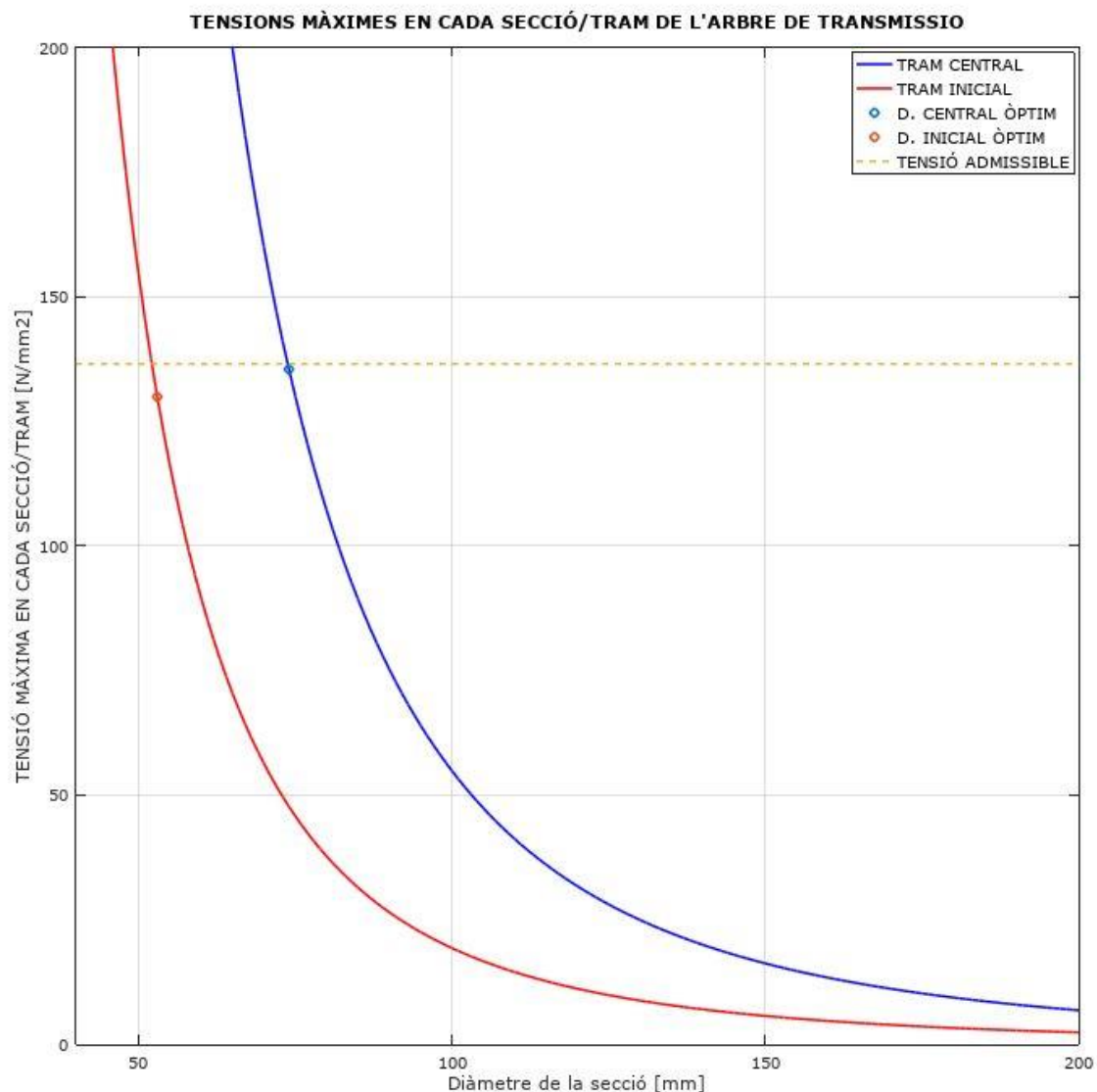
$$(\sigma_{bmax})_{c2} = \frac{(Mb)_{c2}}{(Wb)_{c2}} = \frac{0}{0'1 \cdot D_{inici}^3} = 0 \quad [N/mm^2]$$

$$(\tau_{tmax})_{c2} = \frac{(Mt)_{c2}}{(Wt)_{c2}} = \frac{M_{acciona}}{0'2 \cdot D_{inici}^3} \quad [N/mm^2]$$

$$(\sigma_{eq})_o = \sqrt{3 \cdot (\tau_{tmax})^2} \quad [N/mm^2]$$

COMPROVACIÓ TENSIONS ADMISSIBLES:

$$\sigma_{eq} < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resistent}}{C_s} \quad [N/mm^2]$$



Imatge 71 - Tensions màximes en cada tram de l'arbre segons diàmetre efectiu.
Superposició de la tensió màxima admissible del material

La gràfica mostra com en el tram inicial, on el moment torsor es major, l'arbre necessita una secció inferior que en el tram central, on el moment que ha de transmetre és la meitat. Això es degut a la rellevància del moment flector en "z", que fa necessari una secció mes gran entre recolzaments. Podríem modificar el disseny i apropar les cadenes als recolzaments per a que els moments flectors no fossin tan importants, però optem per quedar-nos amb aquest disseny i agafar un diàmetre continu que compleixi amb els requisits dels dos trams.

RESULTATS DEL CàLCUL:

$$M_{\text{acciona}} = 4465'7 \text{ Nm}$$

Diàmetres escollits per a l'arbre de transmissió:

$$D_{\text{central}} = 74 \text{ mm} \approx 75 \text{ mm}$$

$$D_{\text{inicial}} = 53 \text{ mm} \text{ -- } 75 \text{ mm}$$

4.2.5 BIGA TRANSVERSAL

El descens de càrregues en la boca de metro es realitza de la següent manera. Els 38+38 braços s'articulen en el perímetre del forjat i sobre les correderes. Aquestes es suporten a través dels carrilets sobre les 4 bigues transversals. D'aquesta forma, les bigues reben els esforços del conjunt i els traslladen als laterals, on estan fixades mitjançant pletines al formigó del forjat.

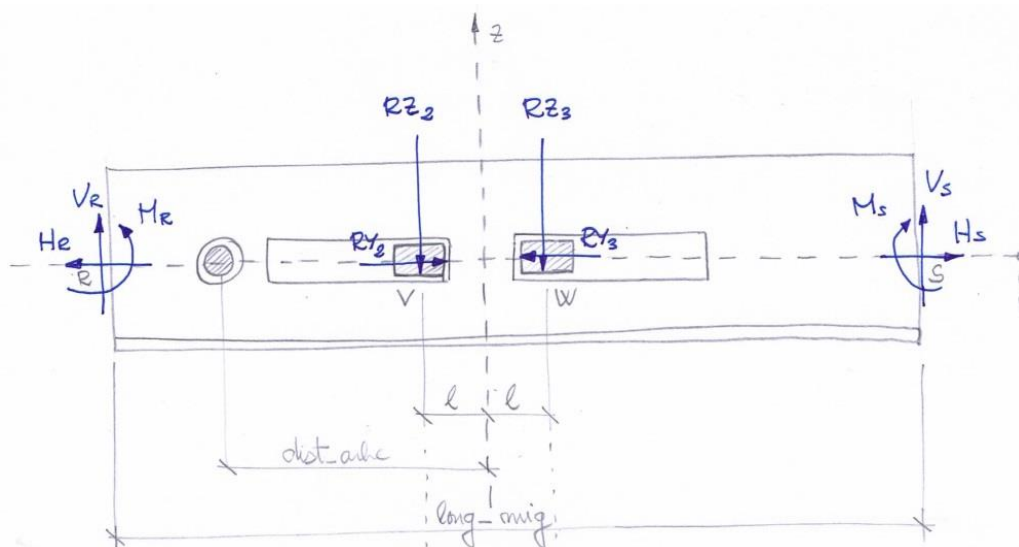
Les dues bigues centrals tenen una llargària teòrica entre empotraments de 8744.7 mm, mentre que les bigues dels extrems són més curtes i compten amb una llargària de 5913.1 mm. De cara al dimensionament s'opta per optimitzar una secció que compleixi les sol·licituds del requeriment A en la posició central –cas més restrictiu-. Els resultats s'aplicaran també a les dues bigues exteriors.

Igual que passava amb els braços, es planteja una secció dissenyada de nou, que fugi dels perfils estandarditzats del mercat. D'aquesta manera podem atendre molt millor les necessitats de l'estructura i adaptar-nos al conjunt d'una forma més precisa.

Hi ha tres requisits que imposa el mecanisme i que condicionen el disseny de la biga:

1. La part central de la biga ha d'estar foradada per al pas de la corredera a través seu. (100mm d'alçada + marges. Recorregut = 1600mm).
2. L'arbre de transmissió també requereix el pas a través de l'ànima del perfil. (75mm de diàmetre + marges.)
3. El perfil no pot tindre ala superior per a no interferir amb els braços en la posició d'obertura màxima.

Amb tot això s'ha dissenyat un perfil amb forma de "T" invertida que no gaudeix d'una secció continua. En les Img. 72 i 73 es mostra la geometria resultant de la peça.

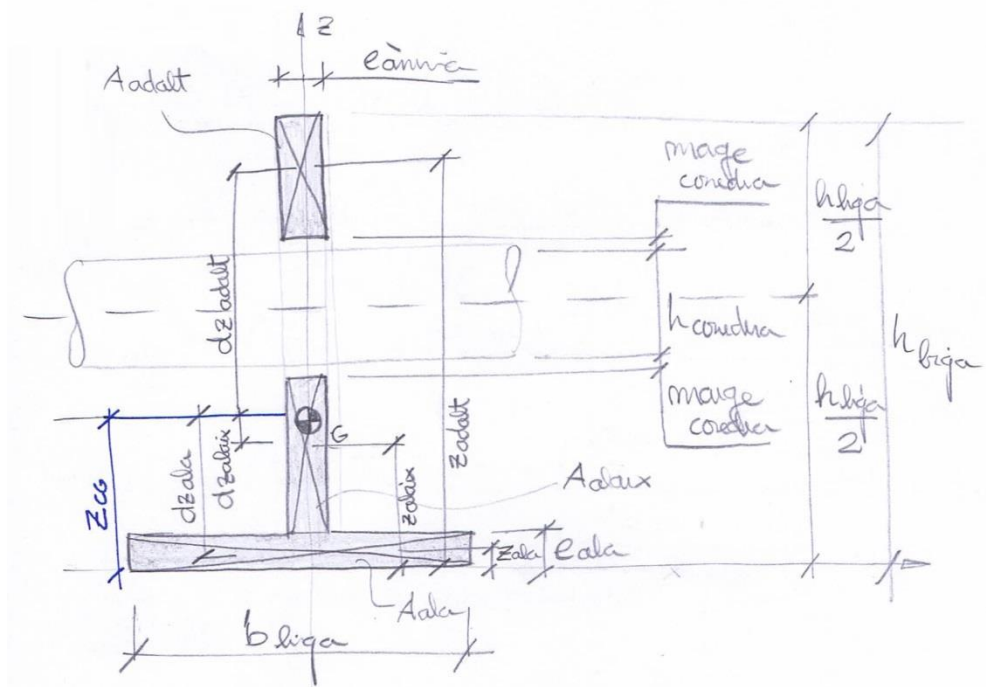


Imatge 72 - Forces aplicades sobre la biga transversal. Vista en alçat

PROCÈS DE CÀLCUL:

Per a la resolució d'aquest apartat es planteja la mateixa metodologia aplicada a l'apartat "4.2.1 BRAÇOS". Sobre una geometria global definida i unes característiques del material també fixades es planteja un càlcul iteratiu per a diferents gruixos d'ànima i ala del perfil. Es comparen els resultats del càlcul amb els valors admissibles de resistència del material i de deformacions. En acabat es selecciona la combinació de gruixos que minimitzi el pes de la biga i compleixi amb tots els requisits imposats.

CÀLCUL CENTRE GRAVETAT:



Imatge 73 - Esquema dimensional de la secció d'estudi de la biga. Amb buit central per al pas de la corredera.

$$A_{ala} = e_{ala} \cdot b_{biga}$$

$$A_{abaix} = e_{ànima} \cdot \left(\frac{h_{biga}}{2} - e_{ala} - \frac{h_{corredera}}{2} - marge_{corr} \right)$$

$$A_{adalt} = e_{ànima} \cdot \left(\frac{h_{biga}}{2} - \frac{h_{corredera}}{2} - marge_{corr} \right)$$

$$z_{ala} = \frac{e_{ala}}{2}$$

$$z_{abaix} = e_{ala} + \frac{\left(\frac{h_{biga}}{2} - \frac{h_{corredera}}{2} - marge_{corr} - e_{ala} \right)}{2}$$

$$z_{adalt} = \frac{h_{biga}}{2} + \frac{h_{corredera}}{2} + marge_{corr} + \left(\frac{\frac{h_{biga}}{2} - \frac{h_{corredera}}{2} - marge_{corr}}{2} \right)$$

$$z_{CG} = \frac{\sum(A_i \cdot z_i)}{\sum A_i}$$

$$z_{CG} = \frac{A_{ala} \cdot z_{ala} + A_{abaix} \cdot z_{abaix} + A_{adalt} \cdot z_{adalt}}{A_{ala} + A_{abaix} + A_{adalt}}$$

$$dz_{ala} = |z_{ala} - z_{CG}|$$

$$dz_{abaix} = |z_{abaix} - z_{CG}|$$

$$dz_{adalt} = |z_{adalt} - z_{CG}|$$

CÀLCUL MOMENT D'INÈRCIA:

$$I_{x\,ala} = (\text{apliquem Steiner}) = \frac{biga \cdot e_{ala}^3}{12} + A_{ala} \cdot dz_{ala}^2$$

$$I_{x\,abaix} = (\text{apliquem Steiner}) = \frac{e_{anima} \cdot \left(\frac{h_{biga}}{2} - \frac{h_{corr}}{2} - marge_{corr} - e_{ala} \right)^3}{12} + A_{abaix} \cdot dz_{abaix}^2$$

$$I_{x\,adalt} = (\text{apliquem Steiner}) = \frac{e_{anima} \cdot \left(\frac{h_{biga}}{2} - \frac{h_{corr}}{2} - marge_{corr} \right)^3}{12} + A_{adalt} \cdot dz_{adalt}^2$$

$$I_{biga} = I_{x\,ala} + I_{x\,abaix} + I_{x\,adalt}$$

CÀLCUL MÒDUL RESISTENTS:

$$w_{SUP} = \frac{I_{x\,biga}}{z_{sup}} = \frac{I_{x\,biga}}{h_{biga} - z_{CG}} \quad [\text{mm}^3]$$

$$w_{INF} = \frac{I_{x\,biga}}{z_{inf}} = \frac{I_{x\,biga}}{z_{CG}} \quad [\text{mm}^3]$$

CÀLCUL DE LES REACCIONS:

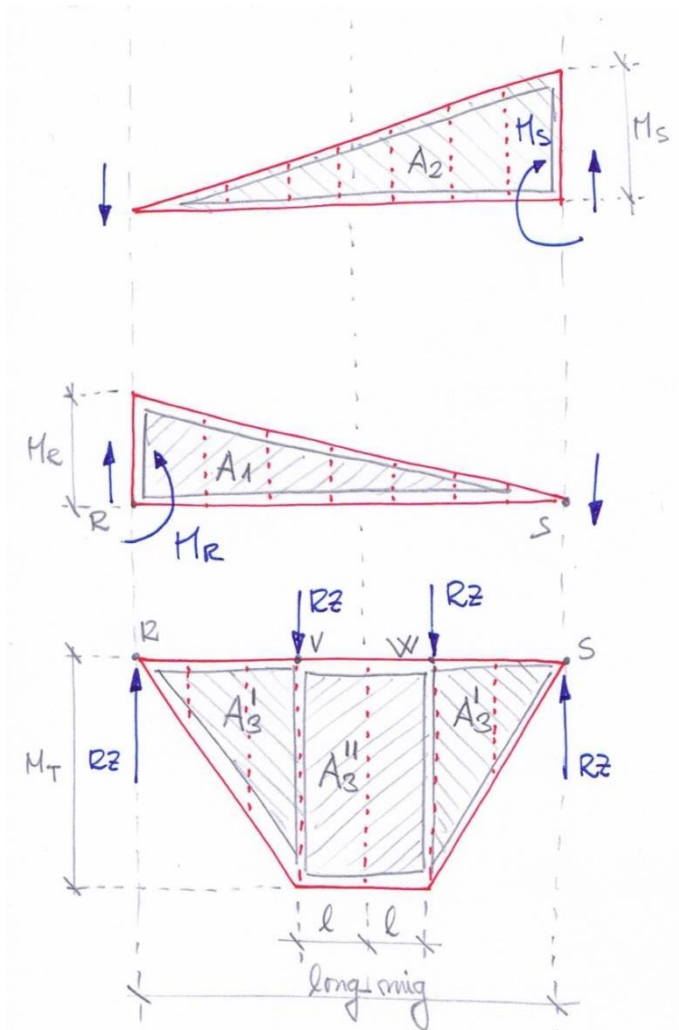
Assumpcions:

1. $RZ = \max|Rz_2, Rz_3|$ al ser valors molt semblants (variació 1%)
2. $RY = \max|RY_2, RY_3|$ al ser valors molt semblants (variació 1%)

$$\sum F_y = 0 \rightarrow H_R = 0 \text{ [N]} ; H_S = 0 \text{ [N]}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow V_R = RZ \text{ [N]} ; V_S = RZ \text{ [N]}$$

Per trobar els moments d'empotrament, cal recórrer al principi de superposició. Calcularem cadascuna de les accions per separat: el moment d'un costat, el moment de l'altre costat i les forces centrals sobre una biga biarticulada. Determinarem les àrees dels diagrames flectors que generen aquestes accions i les combinarem entre si.



Imatge 74 - Càlcul dels moments d'empotrament M_S i M_R mitjançant el mètode de la superposició

$$A_1 = \frac{M_R \cdot longmig}{2}$$

$$A_2 = \frac{M_S \cdot longmig}{2}$$

$$L = \frac{b_{corredera}}{2} + C_y + excèntric_C$$

$$M_T = RZ \cdot \left(\frac{longmig}{2} - l \right)$$

$$A_3 = 2 \cdot A_3' + A_3''$$

$$A_3 = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot M_T \cdot \left(\frac{longmig}{2} - l \right) + 2 \cdot l \cdot M_T$$

$$A_3 = M_T \left(\frac{longmig}{2} - l + 2l \right)$$

$$A_3 = RZ \cdot \left(\frac{longmig}{2} - l \right) \cdot \left(\frac{longmig}{2} + l \right)$$

La simetria ens marca que $M_R = M_S$

$$A_1 = A_2 - A_3 = 0$$

$$2 \cdot \left(\frac{M_R \cdot longmig}{2} \right) - RZ \cdot \left(\frac{longmig}{2} - l \right) \cdot \left(\frac{l + longmig}{2} \right) = 0$$

$$M_R = M_S = \frac{RZ \left(\frac{longmig}{2} - l \right) \cdot \left(l + \frac{longmig}{2} \right)}{longmig}$$

CÀLCUL D'ESFORÇOS A LA SEC. V:

MOMENT FLECTOR en "X":

$$(MF_x)_V = M_R - RZ \cdot \left(\frac{\text{long}_{mig}}{2} - l \right)$$

AXIL:

$$(Ax)_V = RY$$

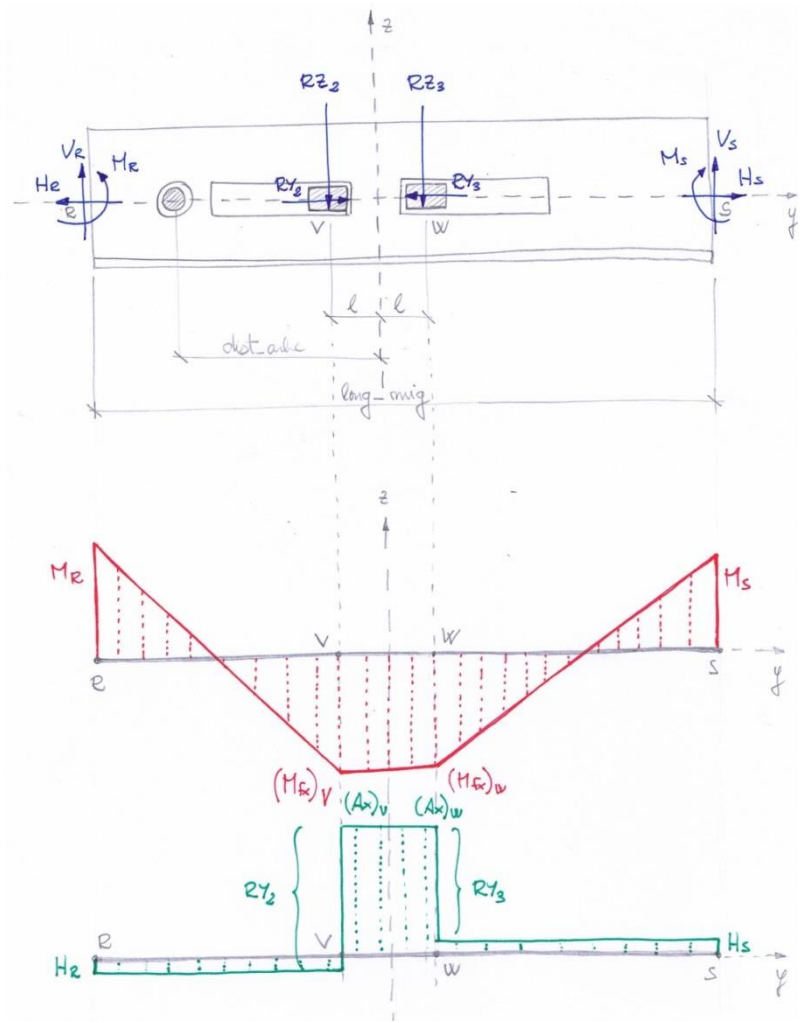
CÀLCUL DE TENSIONS SECCIÓ V- PUNT SUPERIOR :

$$(\sigma_{fx})_V = \frac{(MF_x)_V}{W_{sup}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$(\sigma_{ax})_V = \frac{(Ax)_V}{A_{secció V}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$(\sigma_{ax})_V = \frac{(Ax)_V}{A_{ala} + A_{abaix} + A_{adalt}}$$

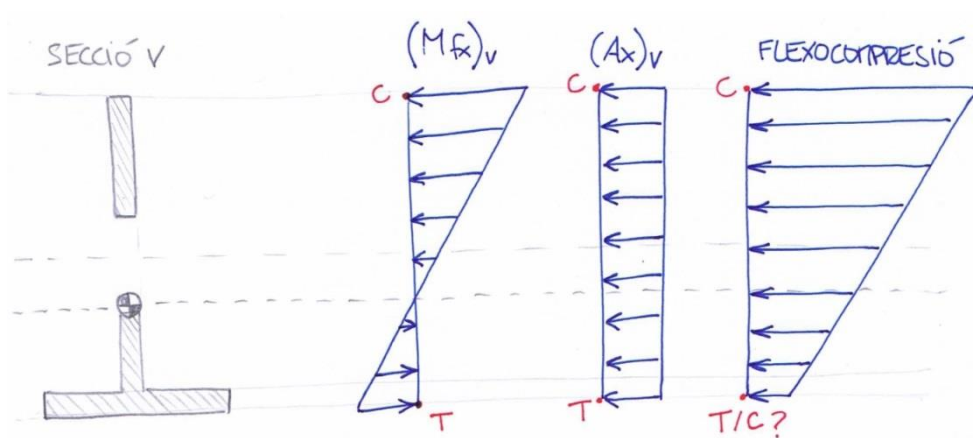
$$(\sigma_{eq})_V = (\sigma_{fx})_V + (\sigma_{ax})_V \quad [\text{N/mm}^2]$$



Imatge 75 - Diagrames de moment flector sobre eix "x" i axil de la biga transversal. Anàlisi sense aplicar simplificacions en les accions.

COMPROVACIÓ TENSIÓ ADMISSIBLE:

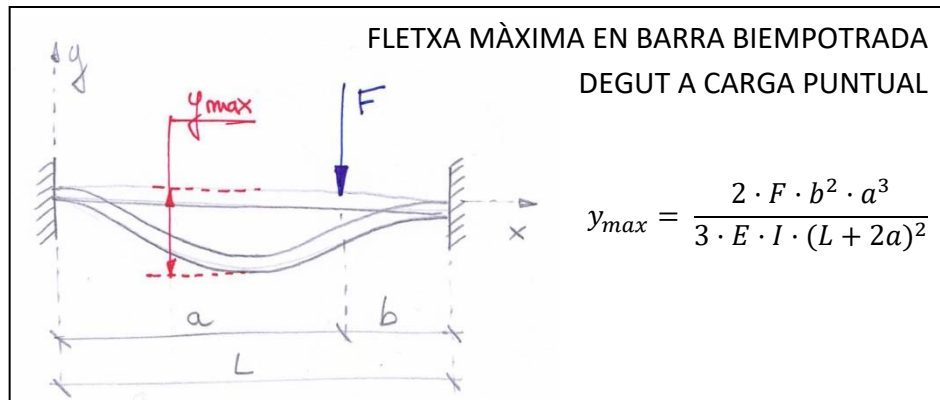
$$(\sigma_{eq})_T < \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resistent}}{C_s} \quad [\text{N/mm}^2]$$



Imatge 76 - Esforços que actuen sobre la secció V de la biga transversal. La zona més sol·licitada sempre serà en el límit superior

COMPROVACIÓ FLETXA ADMISSIBLE:

Per a la resolució d'aquest subapartat recorrem a una formulació específica relativa a la fletxa màxima que es genera en una barra biempotrada quan se li aplica una carga puntual en un punt determinat del vano.



Simplifiquem el model de la nostra biga a una biga biempotrada que rep una càrrega centrada amb valor 2RZ. Calculem la fletxa generada i la comparem amb la fletxa admissible que hem fixat per l'element "biga" ($f_{letxa_{max}} = L/400 = 21.8\text{mm}$).

$$y_{max} = \frac{2 \cdot F \cdot b^2 \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot (L + 2a)^2}$$

$$\downarrow \quad \text{Si } a = b = \frac{L}{2}$$

$$y_{max} = \frac{2 \cdot F \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^5}{3 \cdot E \cdot I \cdot \left(L + 2\frac{L}{2}\right)^2}$$

$$y_{max} = \frac{F \cdot \frac{L^5}{2^4}}{3 \cdot EI \cdot 2^2 \cdot L^2}$$

$$y_{max} = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot 2^6}$$

$$y_{max} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot EI}$$

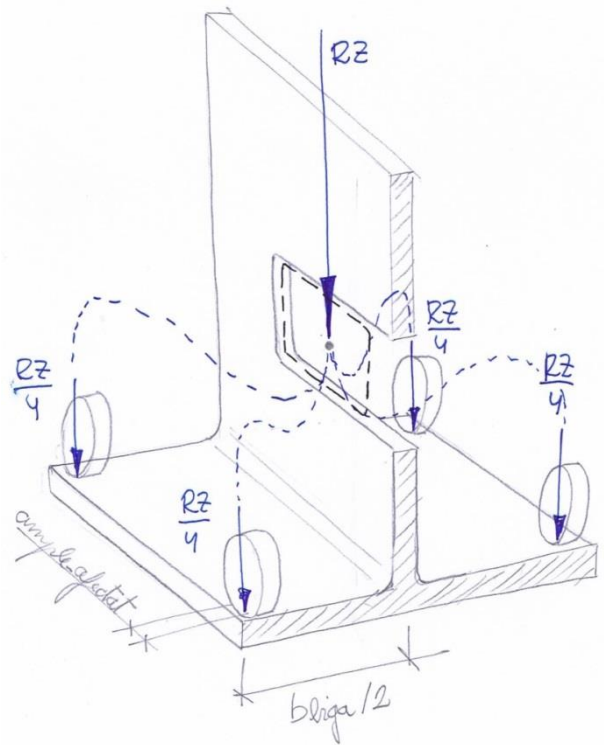
$$f_{càlcul} < f_{adm}$$

$$f_{càlcul} = y_{max} = \frac{2 \cdot RZ \cdot long_{mig}^3}{192 \cdot EI} < f_{adm} = \frac{long_{mig}}{f_{letxa_{max}}}$$

COMPROVACIÓ RESISÈNCIA TRANSVERSAL DE L'ALA:

Sobre l'ala inferior de la biga transversal hi circulen les 10 rodets del carrilet que serveix de nexa amb la corredera. Els esforços verticals (direcció "z") del mecanisme es transmeten a la biga a través d'aquests contactes.

Degut a que hi hauran concentracions de tensions en aquests punts s'ha optat per realitzar la mateixa comprovació que la feta en l'apartat dels braços.



Imatge 77 - Esquema axonòmic d'una repartició equitativa dels esforços verticals als 4 recolzaments del carrilet sobre l'ala de la biga

$$I_y = \frac{1 \cdot e_{ala}^3}{12} \quad [mm^4]$$

$$W = \frac{I_y}{\frac{e_{ala}}{2}} \quad [mm^3]$$

$$M_{fx} = \frac{RZ}{4} \cdot \frac{b_{biga}}{2} \quad [Nmm]$$

$$\sigma_{fx\ ala} = \frac{M_{fx}}{W} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{VM\ ala} = \sqrt{\sigma_N^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\sigma_{fx\ ala}^2 + 3 \cdot 0^2} = \sigma_{fx\ ala} \quad [N/mm^2]$$

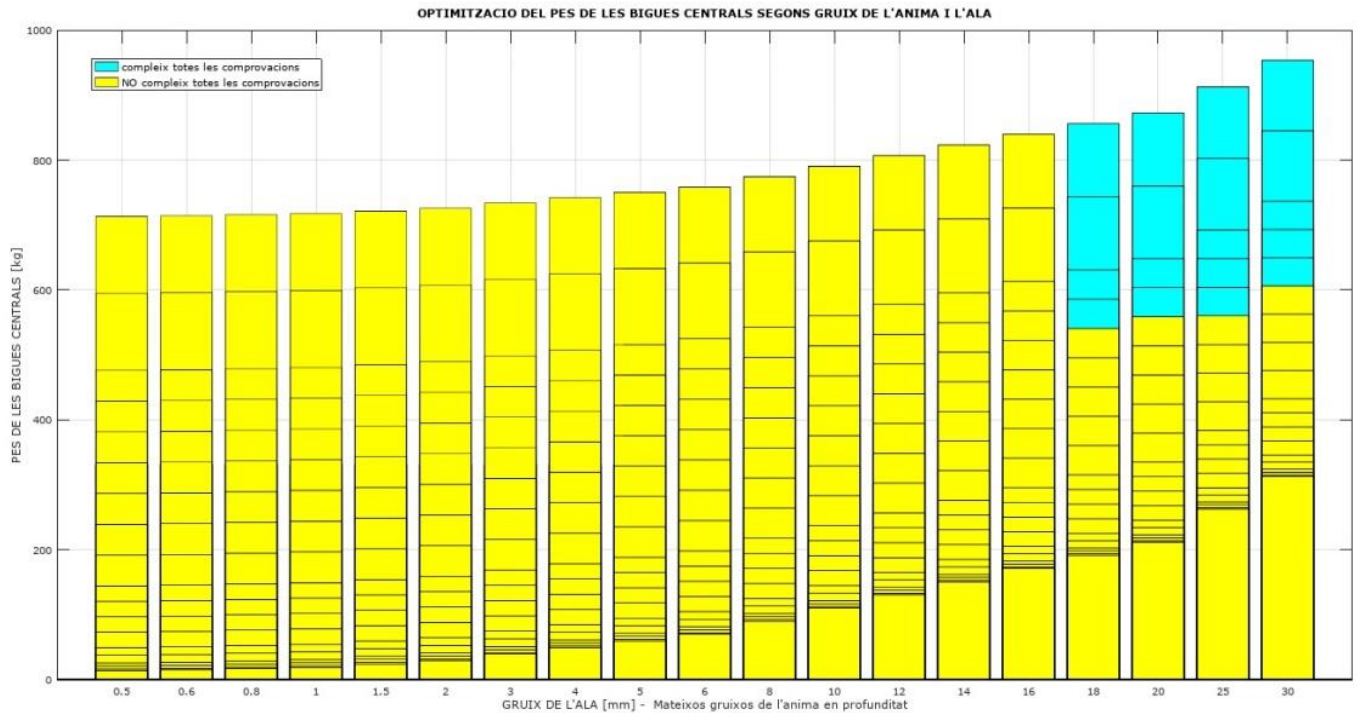
$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{resistent}}{C_s} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_{VMala} < \sigma_{adm}$$

RESULTATS DEL CàLCUL I OPTIMITZACIÓ:

Per a visualitzar d'una forma entenedora els resultats s'ha volgut generar la gràfica següent. Es tracta d'un histograma 3D vist des d'un pla paral·lel a les barres. En l'eix vertical observem el pes total de la biga transversal. En l'eix horitzontal veiem com s'organitzen els diferents gruixos comercials de xapes d'acer inoxidable per a conformar l'ala i en profunditat –una barra darrera de l'altra- per a l'ànima.

Cadascuna de les 361 combinacions de gruixos (19x19) està pintada d'un color. Si la secció que formen com a ala i ànima compleix amb tots els requeriments i comprovacions plantejats és de color blau. Mentre que si falla en alguna de les comprovacions descrites anteriorment, és de color groc.



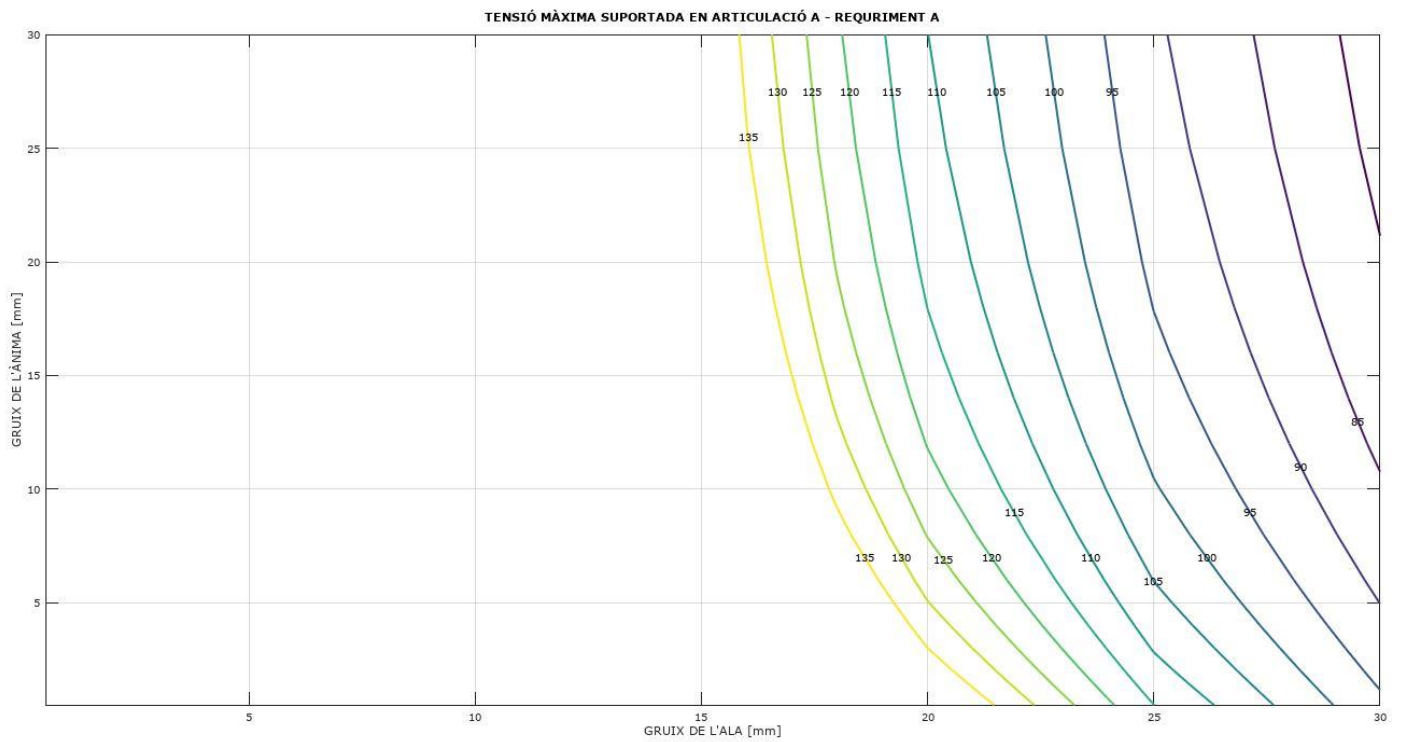
Imatge 78 - Optimització del pes de la biga transversal segons gruix de l'ànima i l'ala

GRUIXOS QUE OPTIMITZEN LA SECCIÓ:

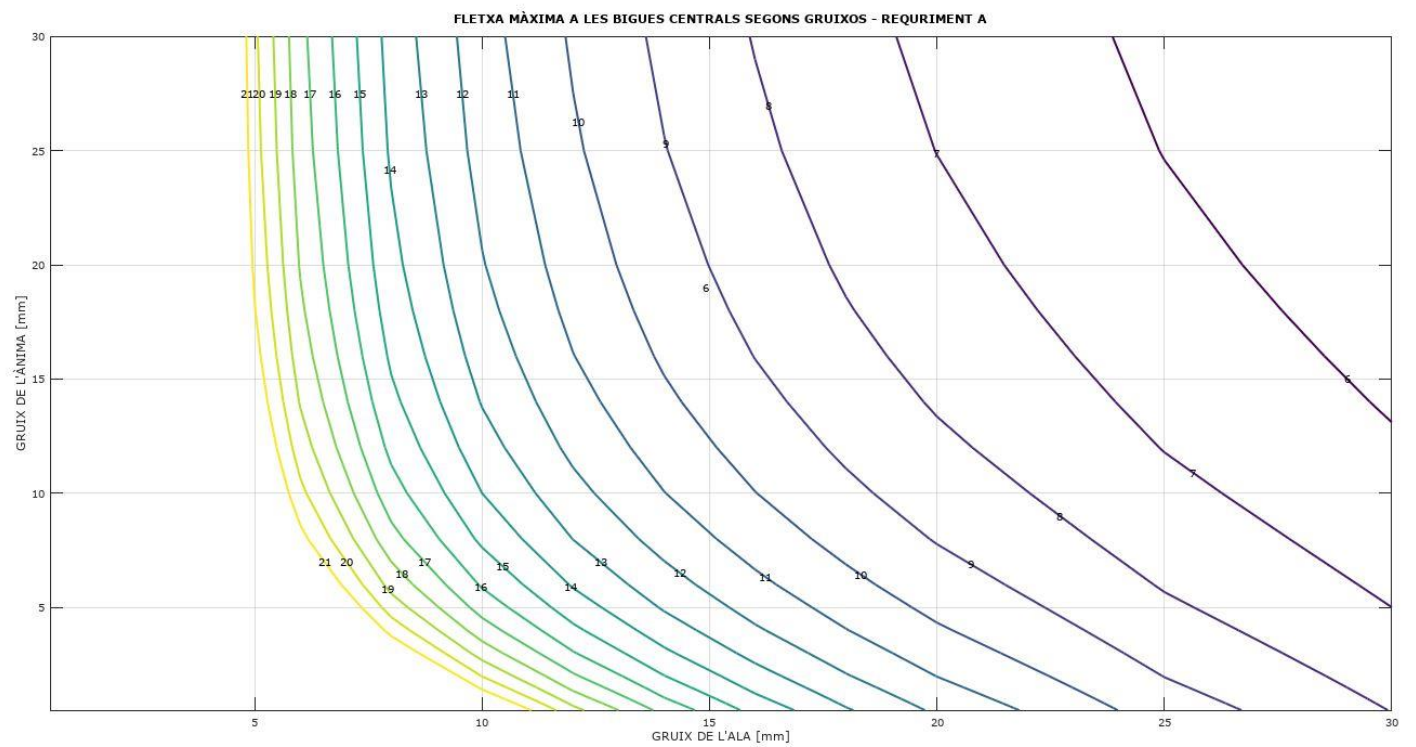
gruix de l'ala = 18 mm

gruix de l'ànima = 18 mm

En aquest apartat del treball també hem volgut introduir un altre tipus de visualització de resultats. En les Img. 79 i 80 es mostren gràfics de corbes de nivell. En ells es fixa una retícula relativa al possibles gruixos d'ala i anima. Sobre aquesta retícula es grafien les zones que pateixen les mateixes tensions màximes i deformacions. Les combinacions de gruixos que no compleixen els requeriments de tensió màxima admissible i fletxa màxima admissible són descartats en el gràfic i queden en blanc.



Imatge 80 - Gràfic de corbes de nivell en que es mostra la tensio màxima a les bigues centrals segons gruixos. REQRIMENT A



Imatge 79 - Gràfic de corbes de nivell en que es mostra la fletxa màxima a les bigues centrals segons gruixos. REQRIMENT A

5. PLÀNOLS

01_EMPLAÇAMENT

01.01 Emplaçament 1:1500 (A4)

01.01 Emplaçament 1:750 (A3)

02_BOCA DE METRO

02.01 Explosionat Boca de Metro (A3)

02.02 Vistes generals Boca de Metro (A2)

02.03 Secció Transversal _ Detalls (A2)

02.04 Secció Longitudinal _ Detalls (A2)

03_ESTRUCTURA BASE

03.01_Explosionat Estructura Base (A3)

03.02_Vistes Generals Estructura Base (A3)

03.03_Forjat (A4)

03.04_Bigues Transversals (A4)

03.05_Perfil Quadradillo (A4)

03.06_Esquadra – Suportació Perimetral (A4)

03.07_Graó Superior de l'Escala (A4)

03.08_Arc Perimetral (A4)

04_ESCALA CONJUNT

04.01_Explosionat Escala Conjunt (A3)

04.02_Vistes Generals Escala Conjunt (A2)

04.03_Nervis de Suport Longitudinal (A4)

04.04_Nervis de Suport Transversal (A4)

04.05_Mòdul Diafragmàtic de l'Escala (A3)

<i>04.06_Costella Estructural del Mòdul</i>	<i>(A4)</i>
<i>04.07_Perfil Angular de Suportació</i>	<i>(A4)</i>
<i>04.08_Graó</i>	<i>(A4)</i>
<i>04.09_Vidre del Passamà</i>	<i>(A4)</i>

05_MECANISME

<i>05.01_Seqüència d'Obertura</i>	<i>(A2)</i>
-----------------------------------	-------------

06_CORREDERA

<i>06.01_Conjunt Corredera</i>	<i>(A3)</i>
<i>06.02_Cos de la Corredera</i>	<i>(A4)</i>
<i>06.03_Explosionat del Carrilet</i>	<i>(A3)</i>
<i>06.04_Cos del Carrilet</i>	<i>(A3)</i>
<i>06.05_Fixació Corredera amb Art. C</i>	<i>(A4)</i>
<i>06.06_Tapa de la Corredera</i>	<i>(A4)</i>

07_BRAÇOS

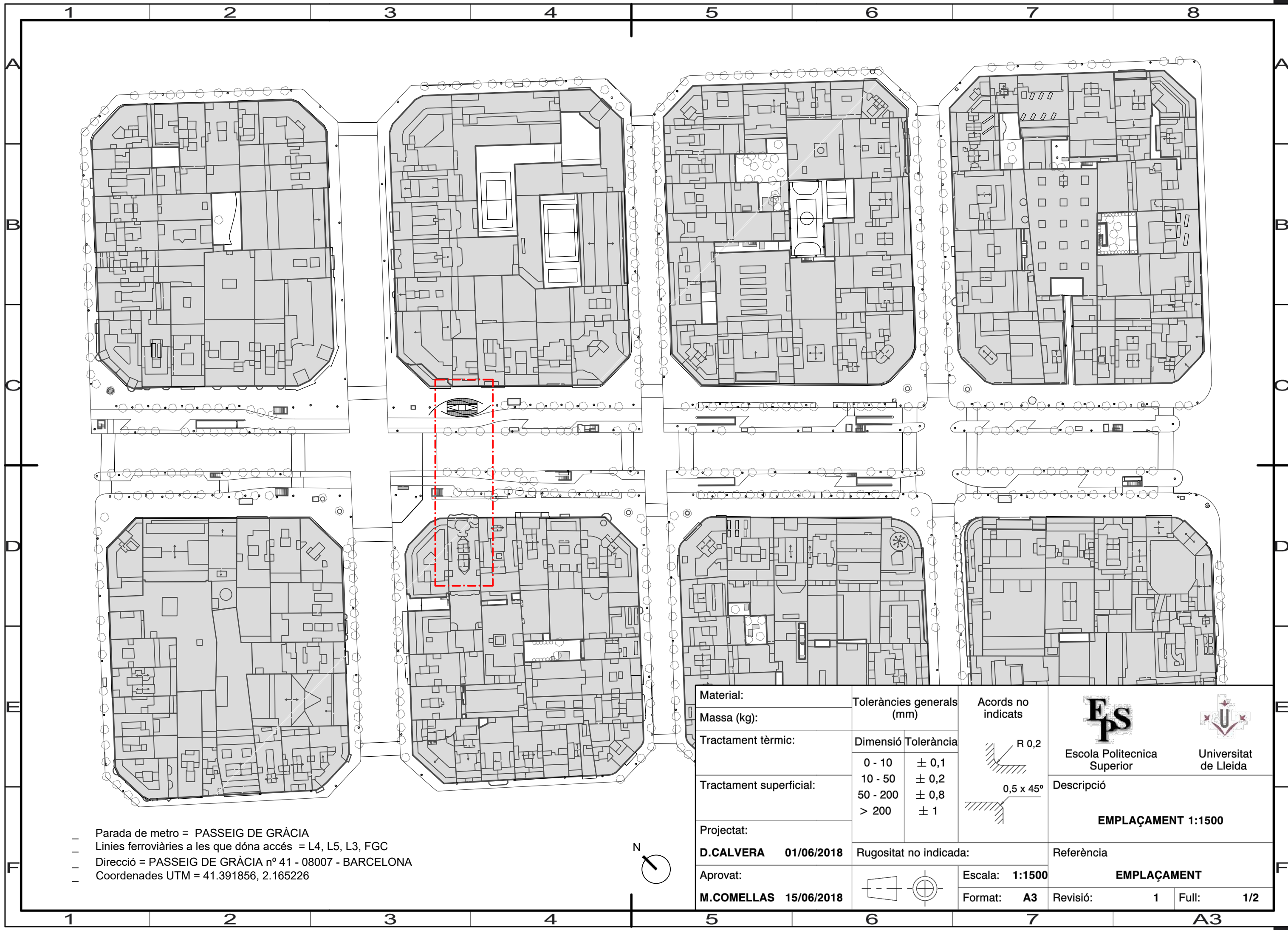
<i>07.01_Explosionat Braç Tipus</i>	<i>(A3)</i>
<i>07.02_Braç Manovella</i>	<i>(A3)</i>
<i>07.03_Braç Biela</i>	<i>(A3)</i>
<i>07.04_Pletina de Connexió amb Art. C</i>	<i>(A4)</i>
<i>07.05_Passador Articulacions - Mascle</i>	<i>(A4)</i>
<i>07.06_Passador Articulacions - Femella</i>	<i>(A4)</i>

08_GRAÓ-LLEVA

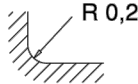
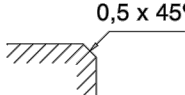


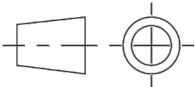
<i>08.01_Posicions Extremes del Mecanisme</i>	<i>(A3)</i>
<i>08.02_Vistes generals i explosionat Graó-Lleva</i>	<i>(A3)</i>
<i>08.03_Guia Lateral del Mecanisme</i>	<i>(A4)</i>

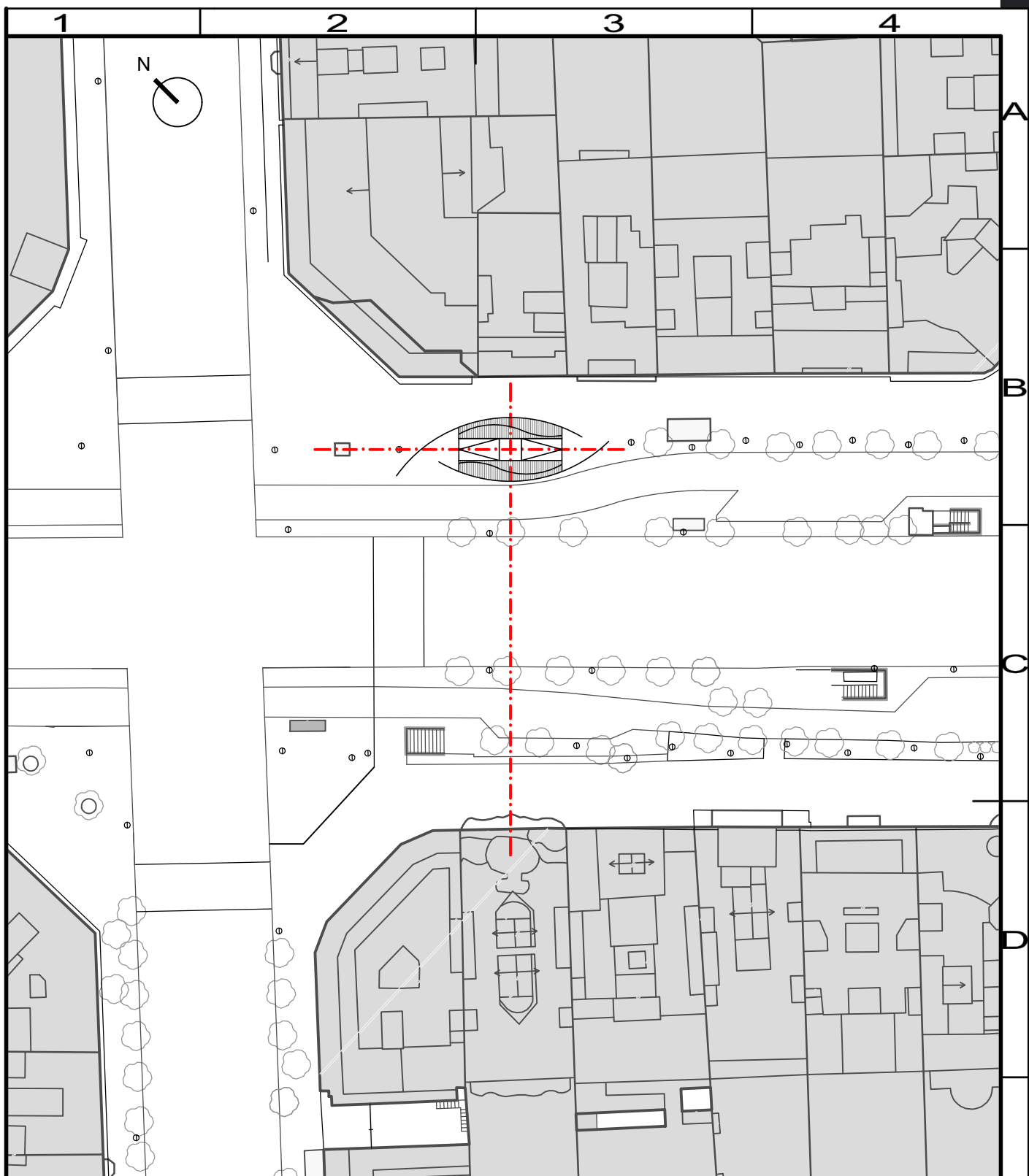
09_REIXA LATERAL



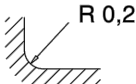
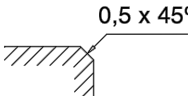
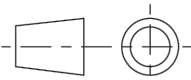
<i>09.01_Posicions Extremes del Mecanisme</i>	<i>(A3)</i>
<i>09.02_Seqüència d'Obertura</i>	<i>(A3)</i>
<i>09.03_Lama Vertical de la Reixa</i>	<i>(A3)</i>
<i>09.04_Fixació Superior de la Reixa</i>	<i>(A4)</i>
<i>09.05_Fixació Lateral de la Reixa</i>	<i>(A4)</i>
<i>09.06_Element de Connexió entre Barres</i>	<i>(A4)</i>

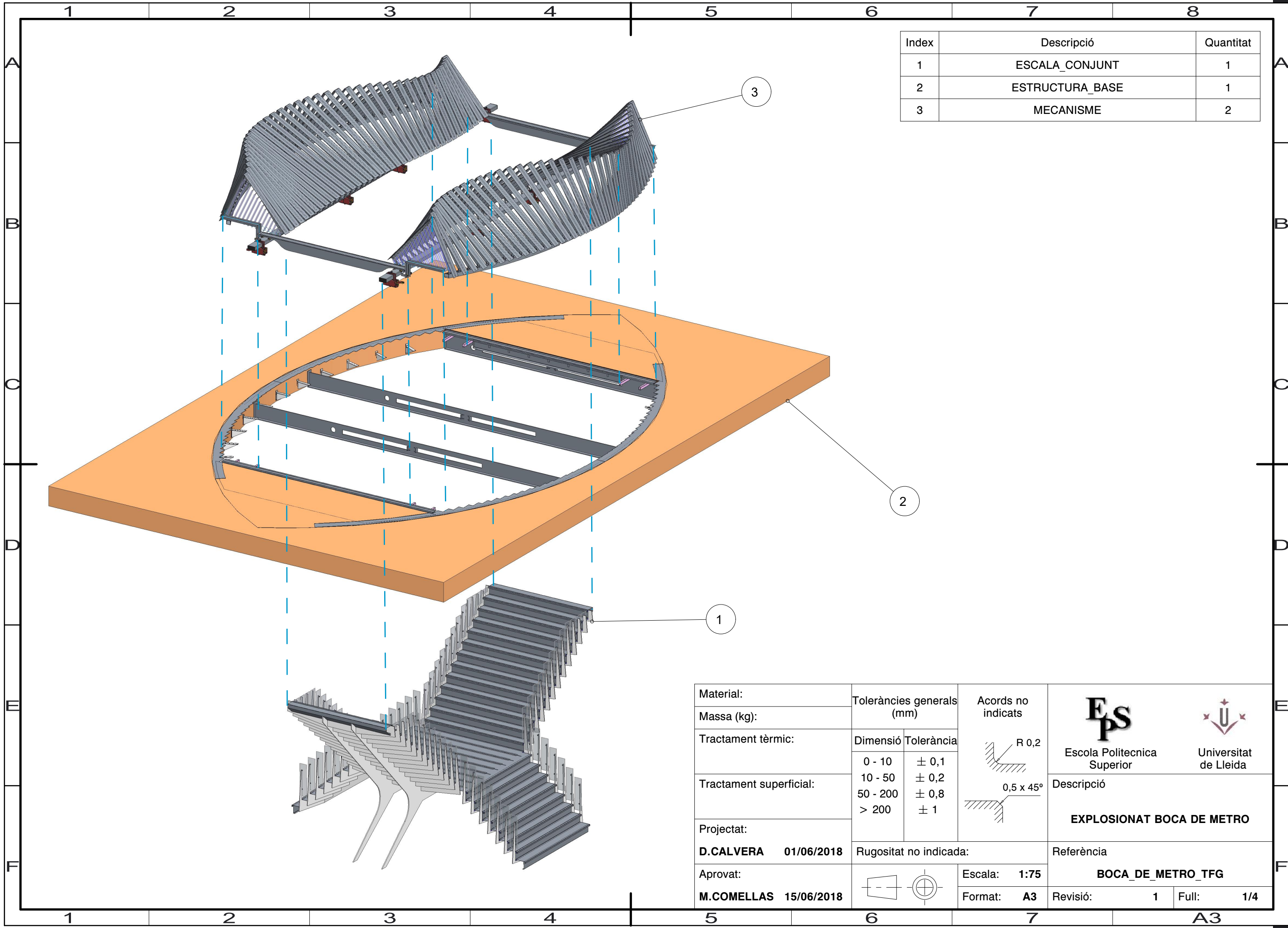


— Parada de metro = PASSEIG DE GRÀCIA
— Línies ferroviàries a les que dona accés = L4, L5, L3, FGC
— Direcció = PASSEIG DE GRÀCIA nº 41 - 08007 - BARCELONA
— Coordenades UTM = 41.391856, 2.165226

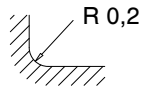
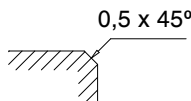


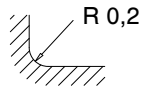
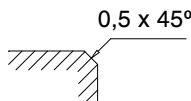
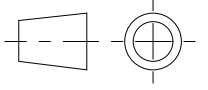
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats  	 Escola Politecnica Superior	 Universitat de Lleida
Massa (kg):	Dimensió	Tolerància			
Tractament tèrmic:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
Tractament superficial:	> 200	± 1	Referència EMPLAÇAMENT		
Projectat:	Rugositat no indicada:			Escala: 1:1500	
D.CALVERA 01/06/2018					Format: A3
Aprovat:	M.COMELLAS 15/06/2018		Revisió: 1	Full: 1/2	

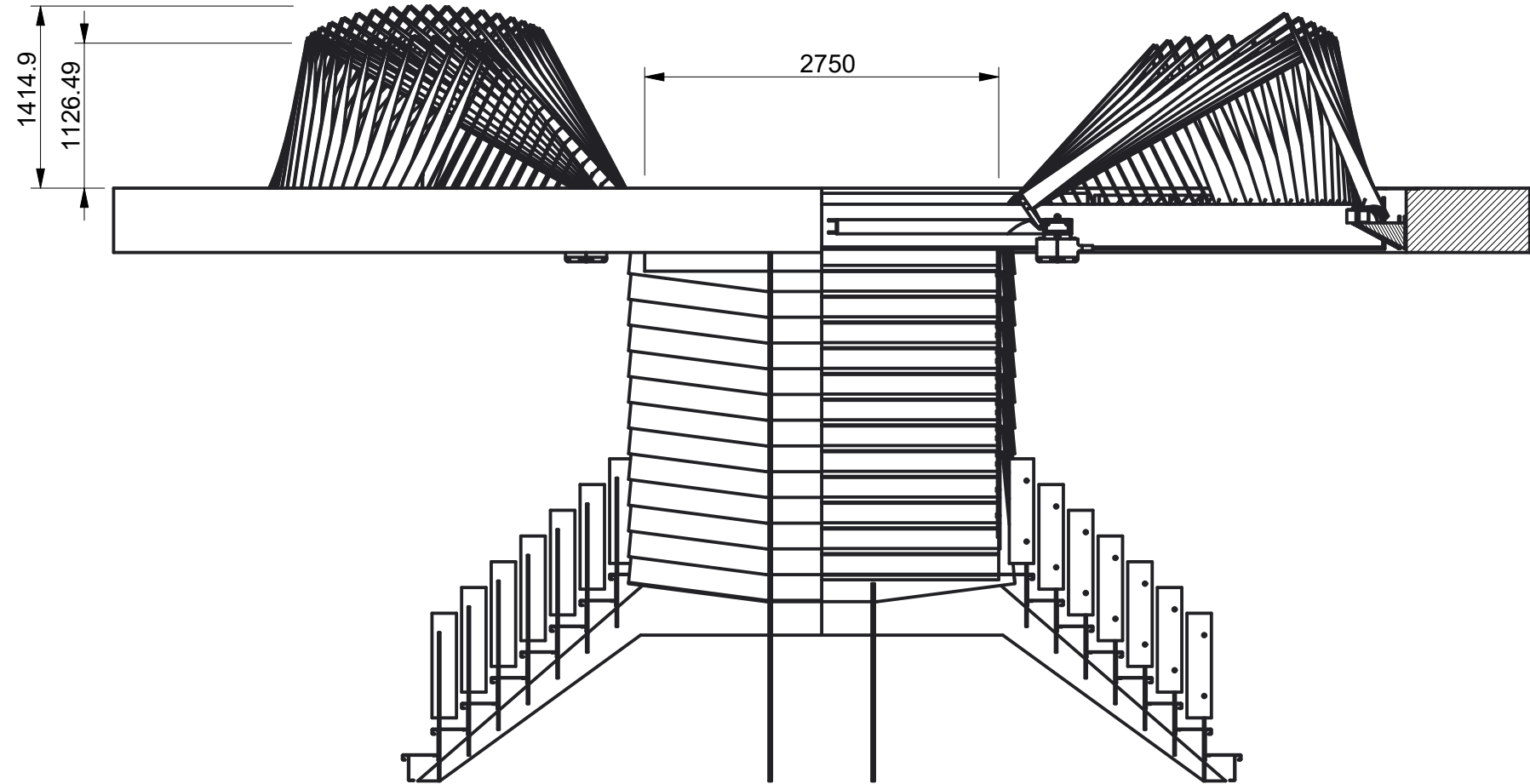


Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats			
Massa (kg):						
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		 	Escola Politecnica Superior	Universitat de Lleida
	0 - 10	± 0,1				
	10 - 50	± 0,2				
Tractament superficial:	50 - 200	± 0,8				
	> 200	± 1				
Projectat:			Descripció			
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:					
Aprovat:			Escala: 1:750	EMPLAÇAMENT		
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4			

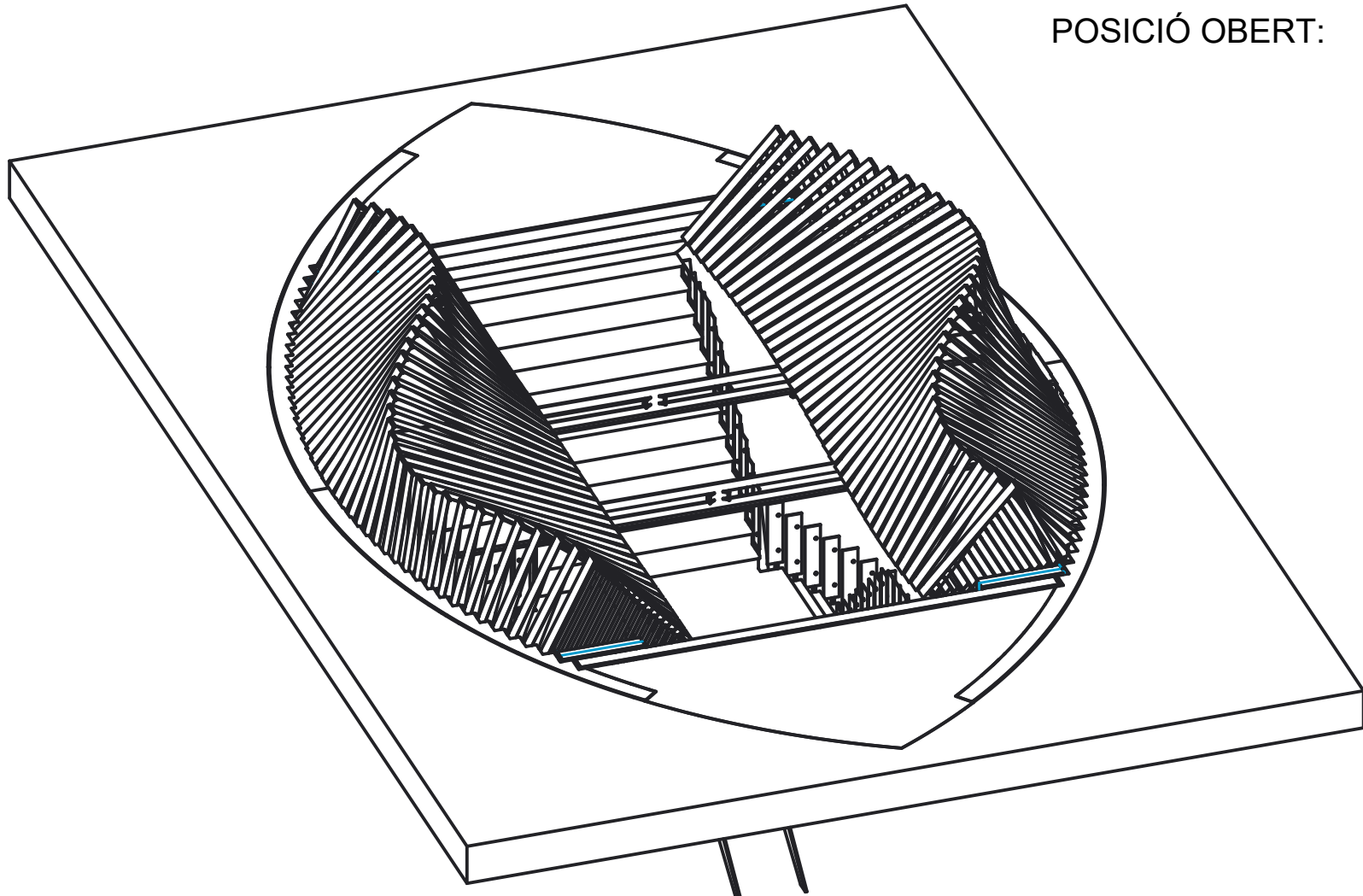


Index	Descripció	Quantitat
1	ESCALA_CONJUNT	1
2	ESTRUCTURA_BASE	1
3	MECANISME	2

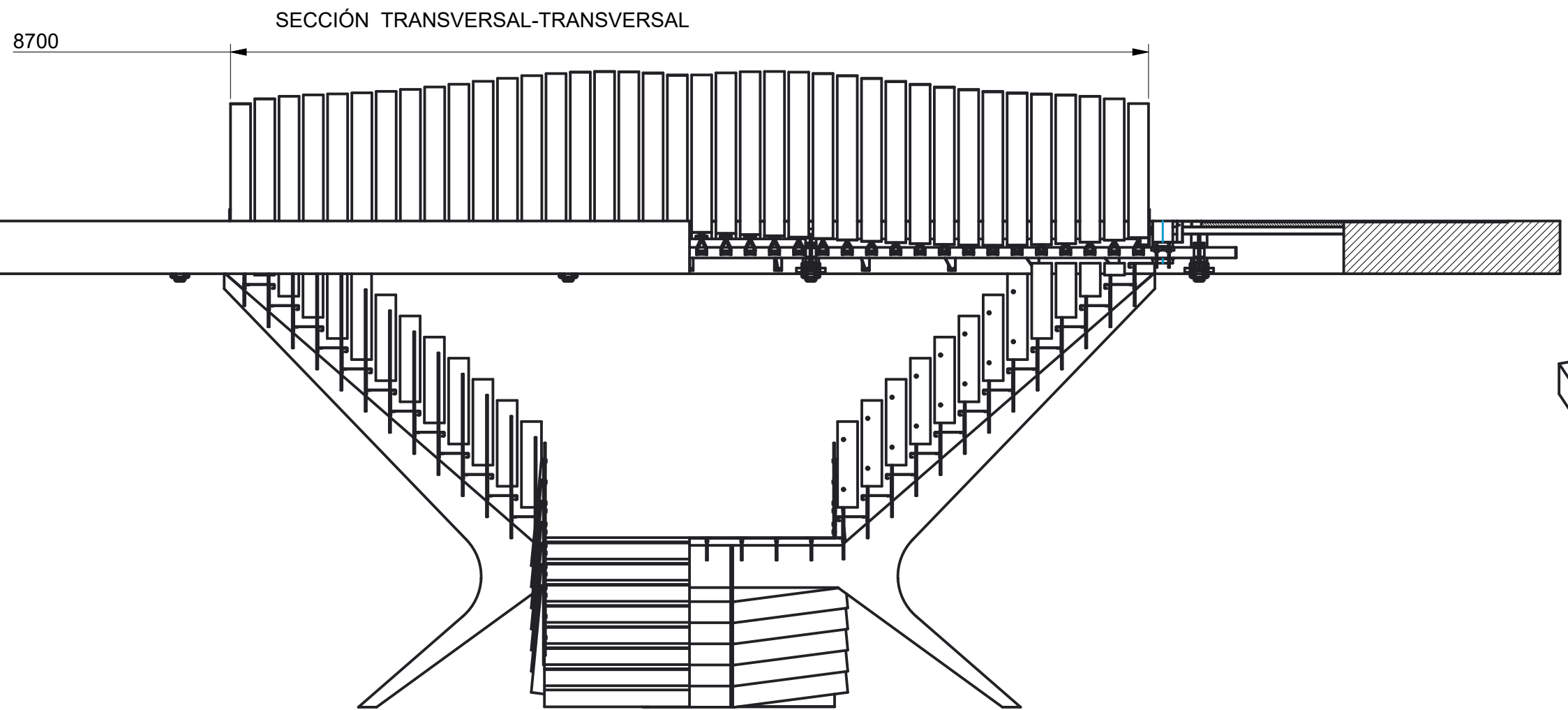
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats  R 0,2  0,5 x 45°	 Escola Politecnica Superior  Universitat de Lleida
Massa (kg):				
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància	 R 0,2  0,5 x 45°	Descripció EXPLOSIONAT BOCA DE METRO
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1		
	10 - 50	± 0,2		
	50 - 200	± 0,8		
Projectat:	Rugositat no indicada:		Escala: 1:75	Referència BOCA_DE_METRO_TFG
D.CALVERA 01/06/2018				
Aprovat:			Format: A3	Revisió: 1 Full: 1/4
M.COMELLAS 15/06/2018				



POSICIÓ OBERT:

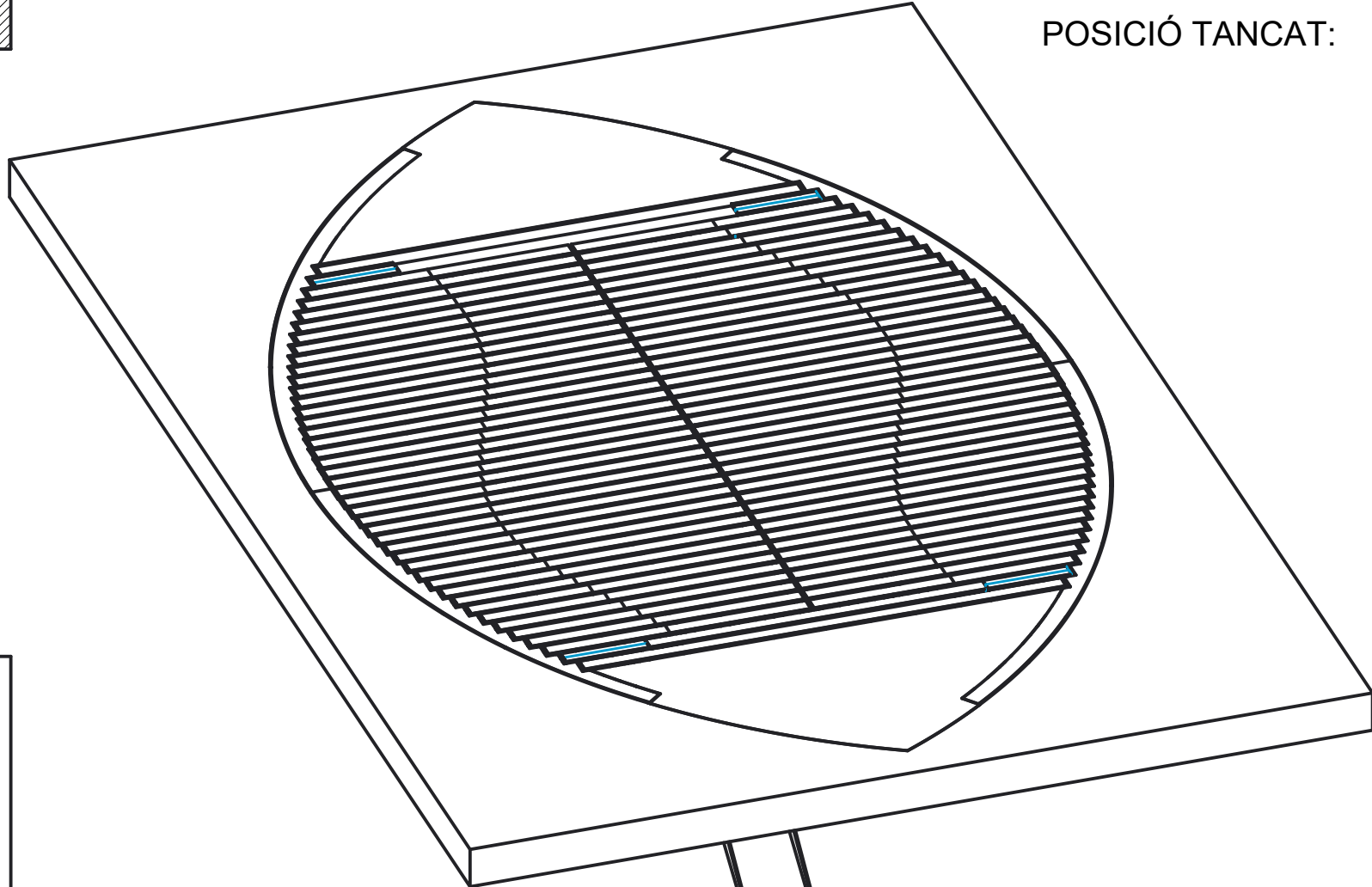


ESCALA 1:75



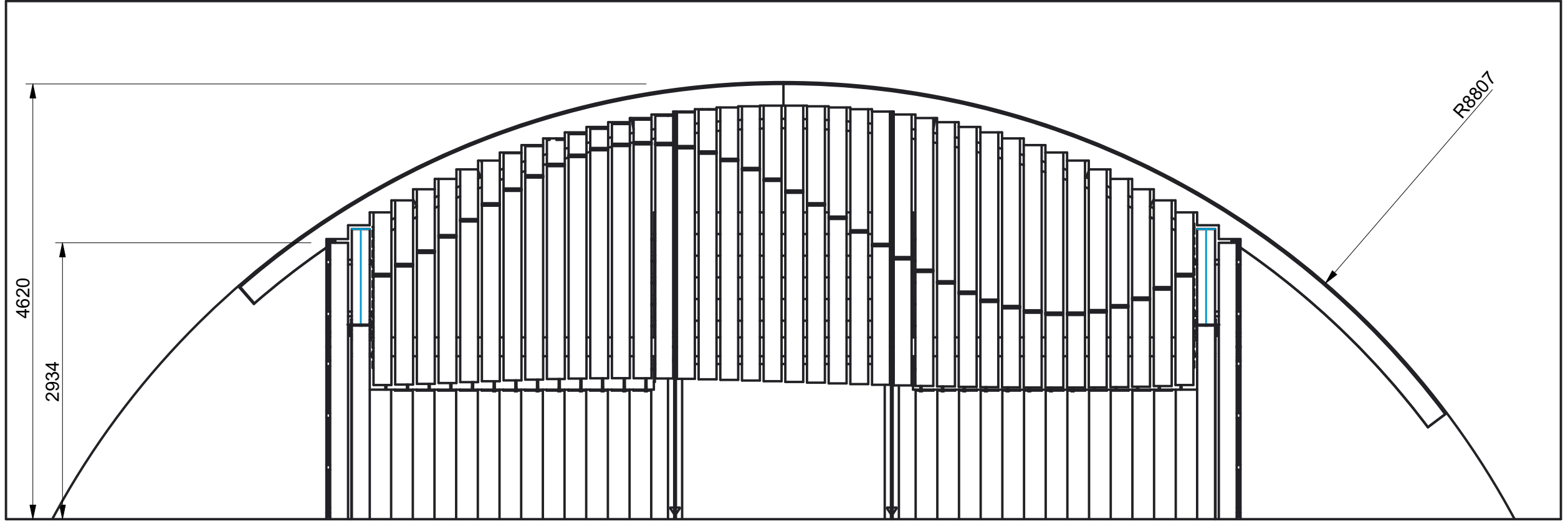
SECCIÓN TRANSVERSAL-TRANSVERSAL

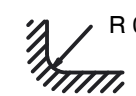



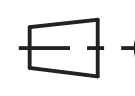
POSICIÓ TANCAT:

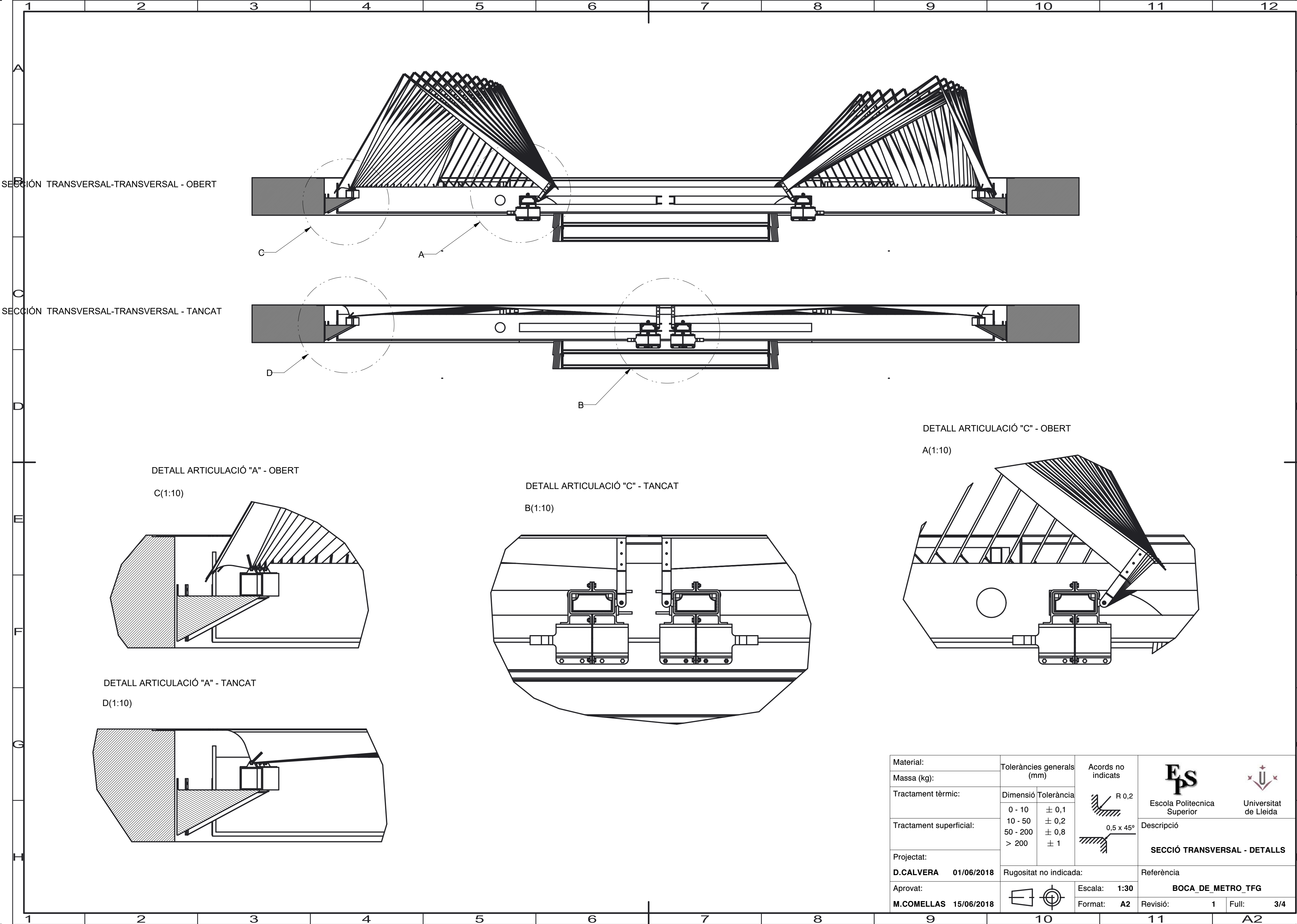


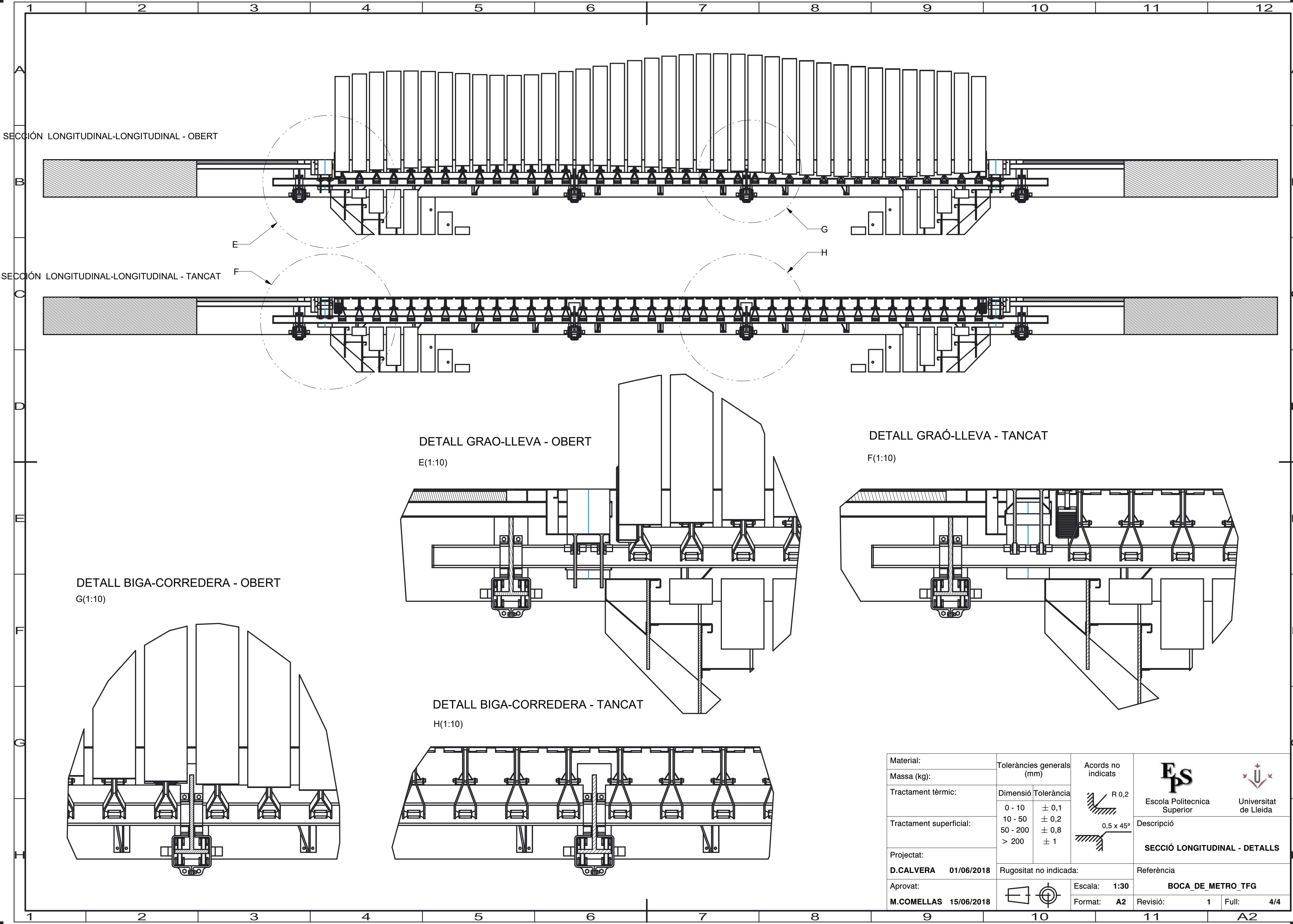
ESCALA 1:75



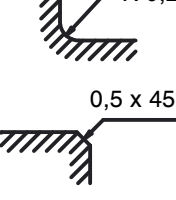
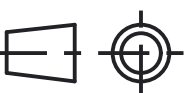
SECCIÓN LONGITUDINAL-LONGITUDINAL

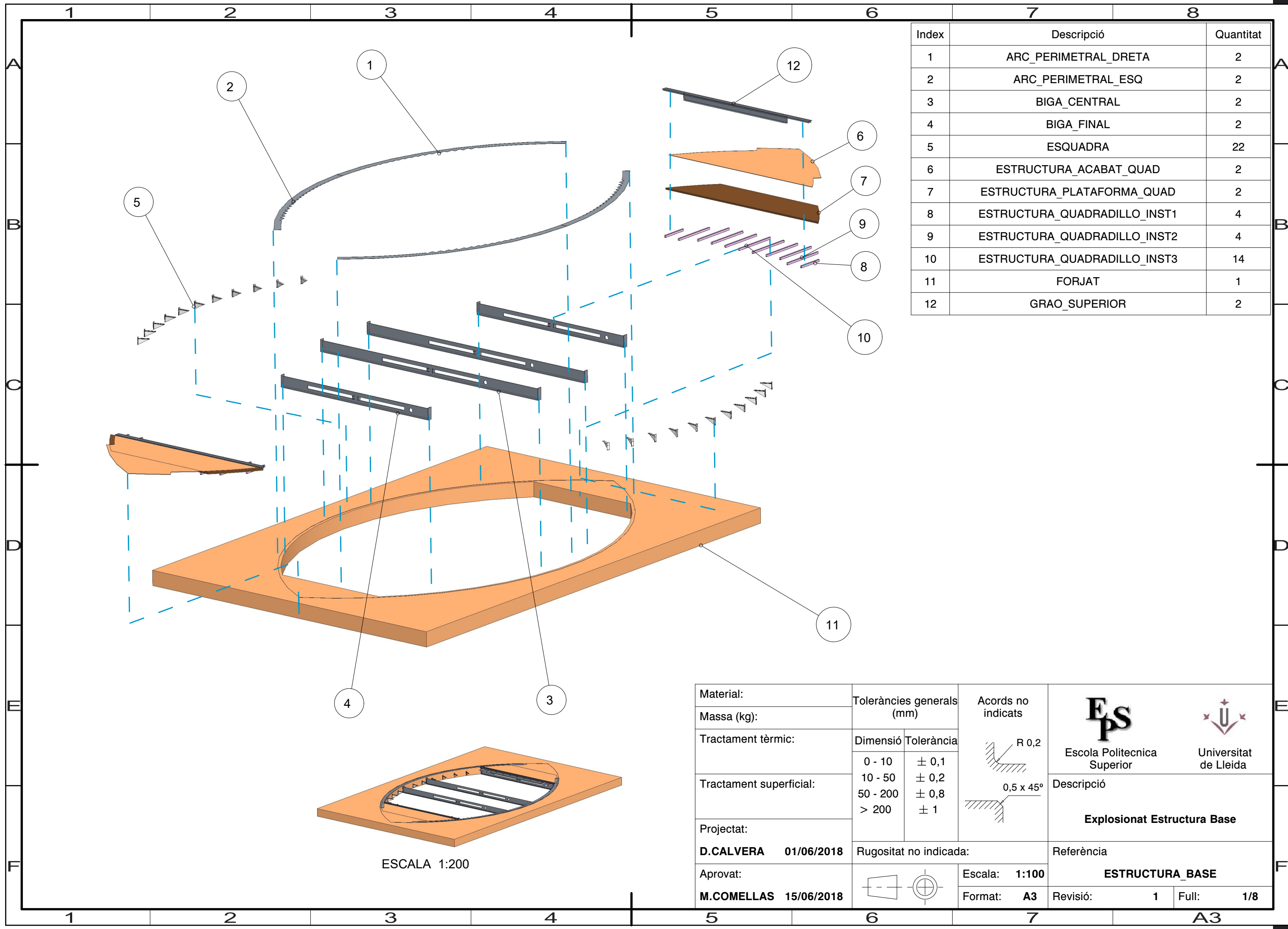


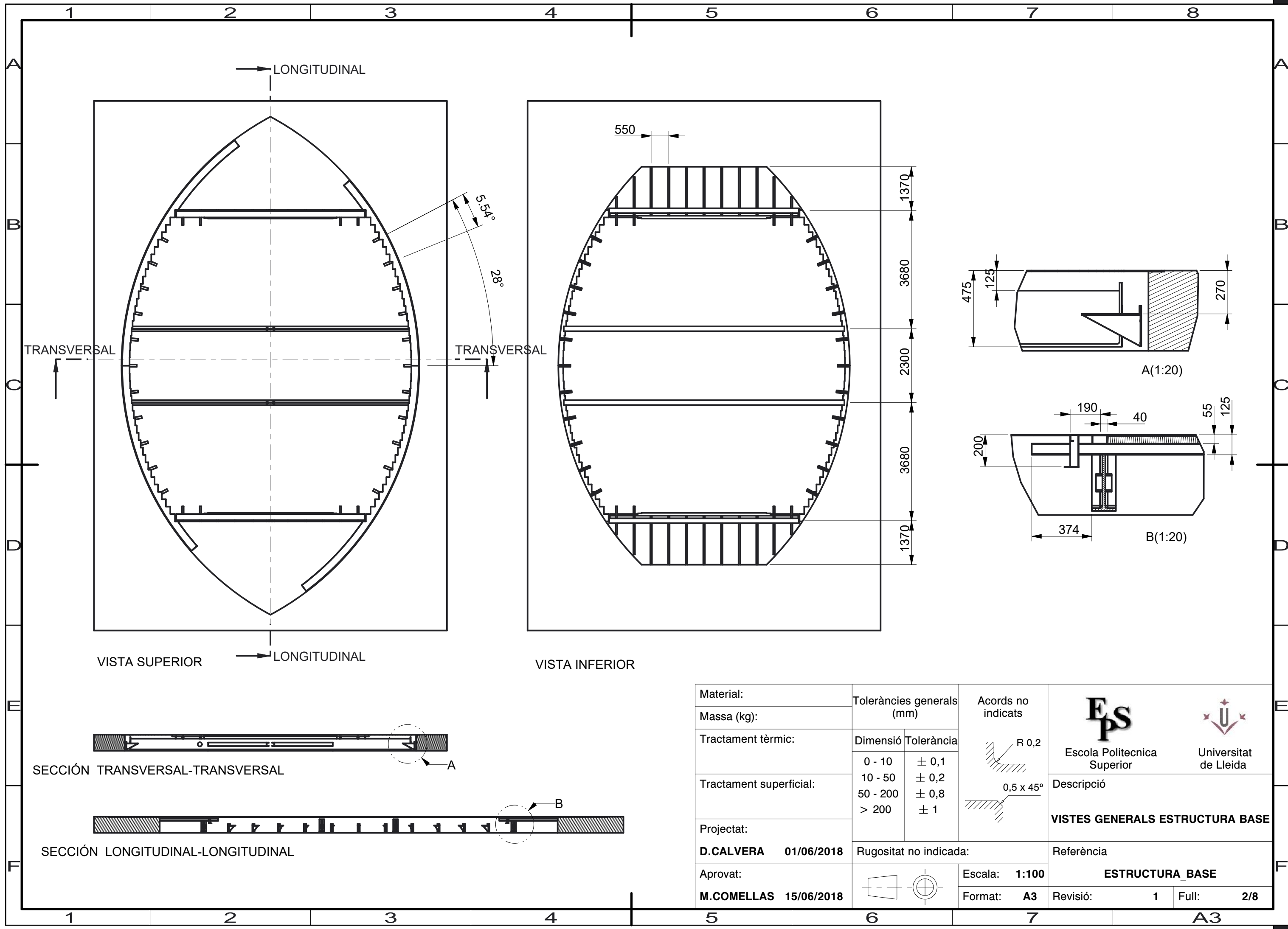
Material:	Toleràncies generals (mm)		<div>Acords no indicats</div> <div> R 0,2</div> <div> 0,5 x 45°</div>	<div> Escola Politécnica Superior</div> <div> Universitat de Lleida</div>
Massa (kg):	Dimensió	Tolerància		
Tractament tèrmic:	0 - 10	± 0,1		
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2		Descripció
	50 - 200	± 0,8		
	> 200	± 1		VISTES GENERALS BOCA DE METRO
Projectat:	Rugositat no indicada:		Referència	
D.CALVERA 01/06/2018			BOCA_DE_METRO_TFG	
Aprovat:			Escala: 1:50	Revisió: 1 Full: 2/4
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A2	

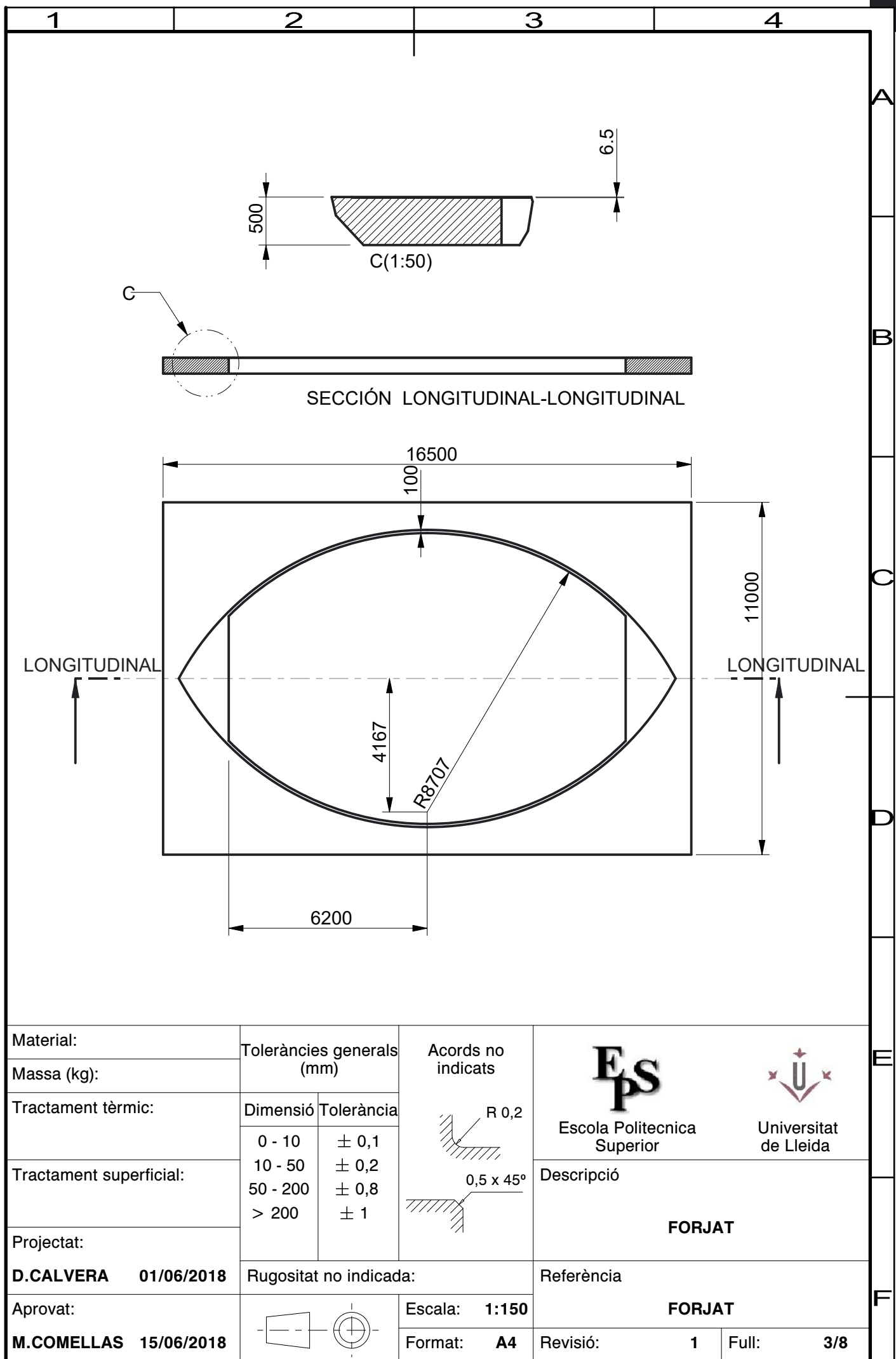




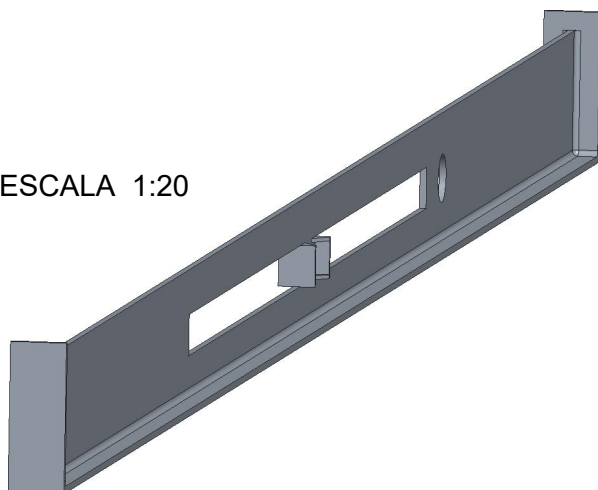
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	 Escola Politècnica Superior	 Universitat de Lleida
Massa (kg):					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
	> 200	± 1			
Projectat:				Descripció	
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:			SECCIÓ LONGITUDINAL - DETALLS	
Aprovat:		Escala: 1:30	BOCA_DE_METRO_TFG		
M.COMELLAS 15/06/2018		Format: A2			



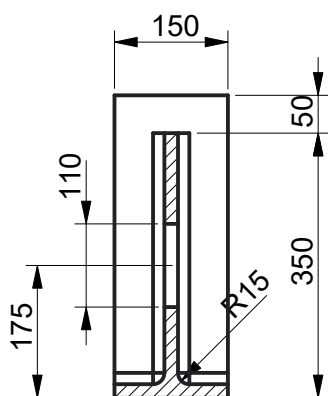
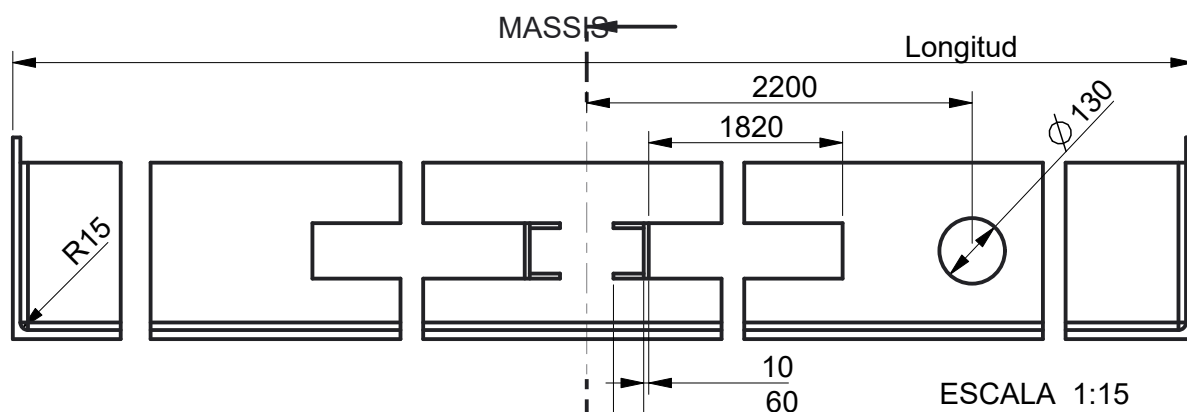




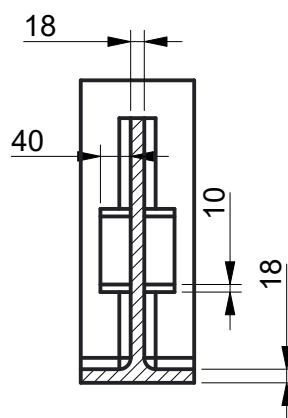
ESCALA 1:20





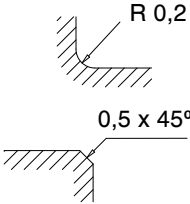
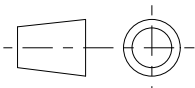
Instància	Longitud
Biga_central	8744.7 mm
Biga_final	5913.1 mm



SECCIÓN HUECO-HUECO

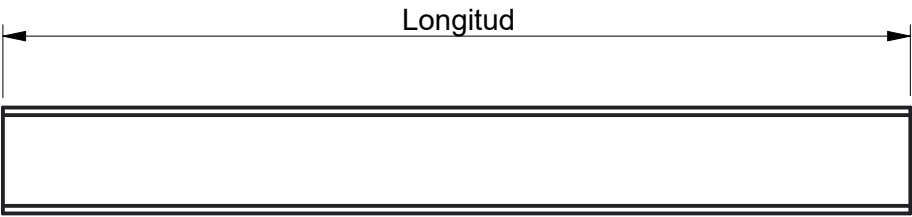


SECCIÓN MASSIS-MASSIS

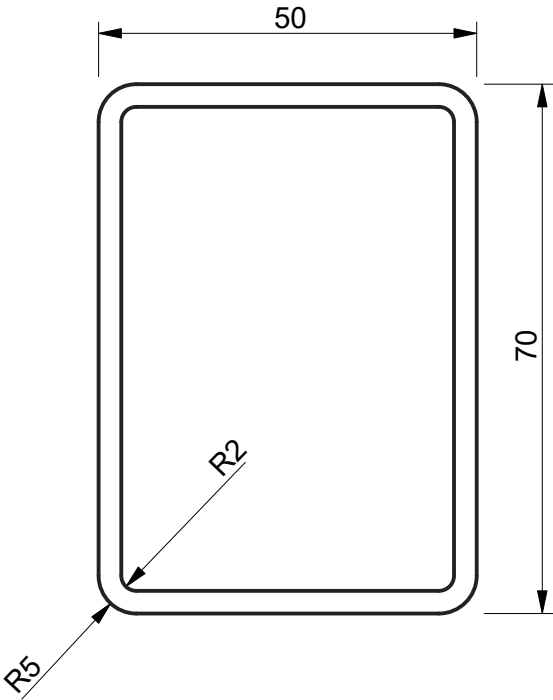
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats			
Massa (kg):						
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància				
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1				
	10 - 50	± 0,2				
	50 - 200	± 0,8				
	> 200	± 1		Descripció		
Projectat:				BIGUES TRANSVERSALS		
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:			Referència		
Aprovat:			Escala: 1:10	BIGA		
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4			Revisió: 1


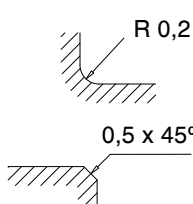
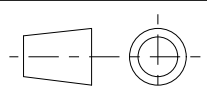
A
B
C
D
E
F

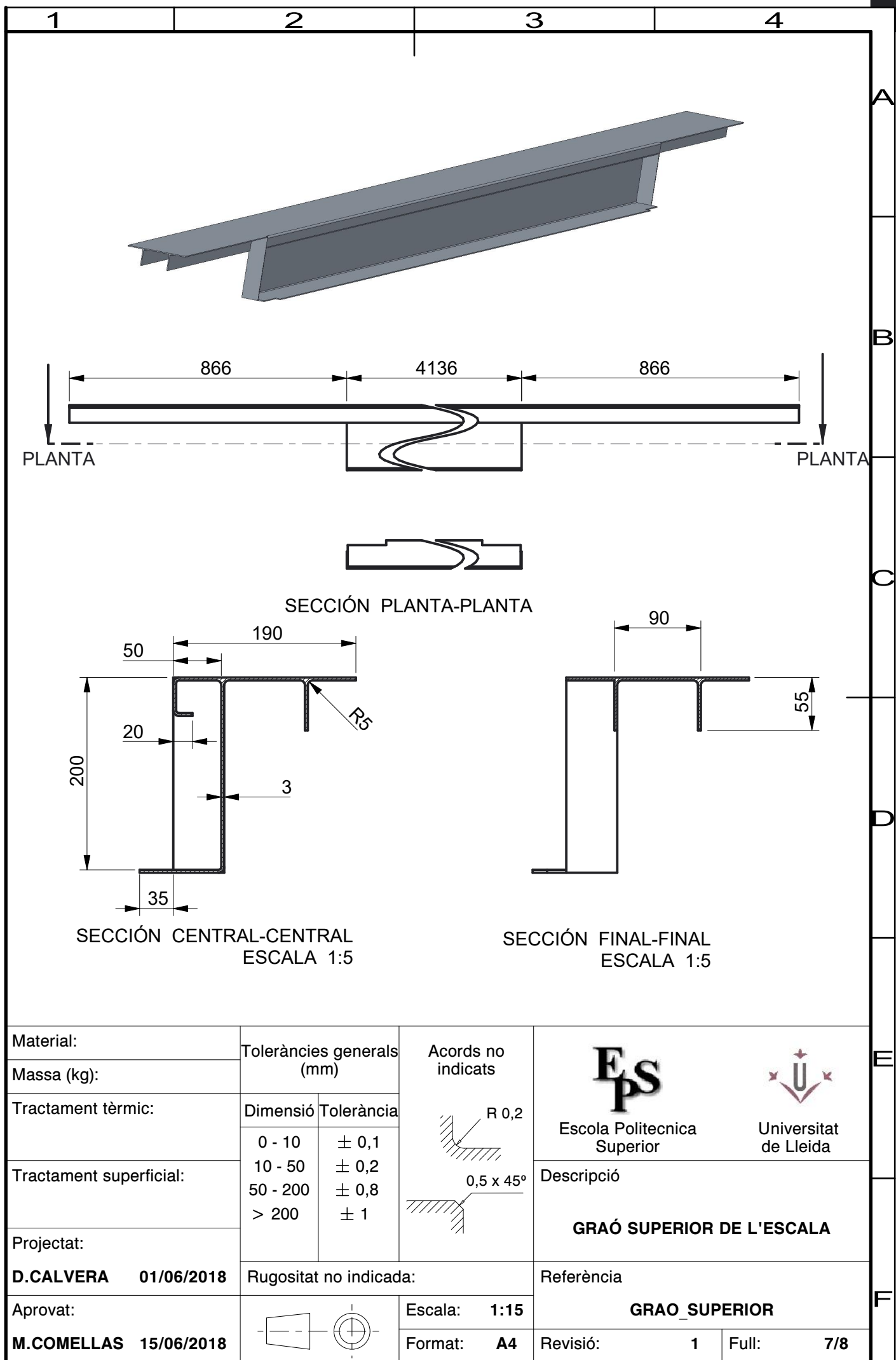
Instància	Longitud
Estructura_Quadradillo_Inst1	880 mm
Estructura_Quadradillo_Inst2	1500 mm
Estructura_Quadradillo_Inst3	1527 mm

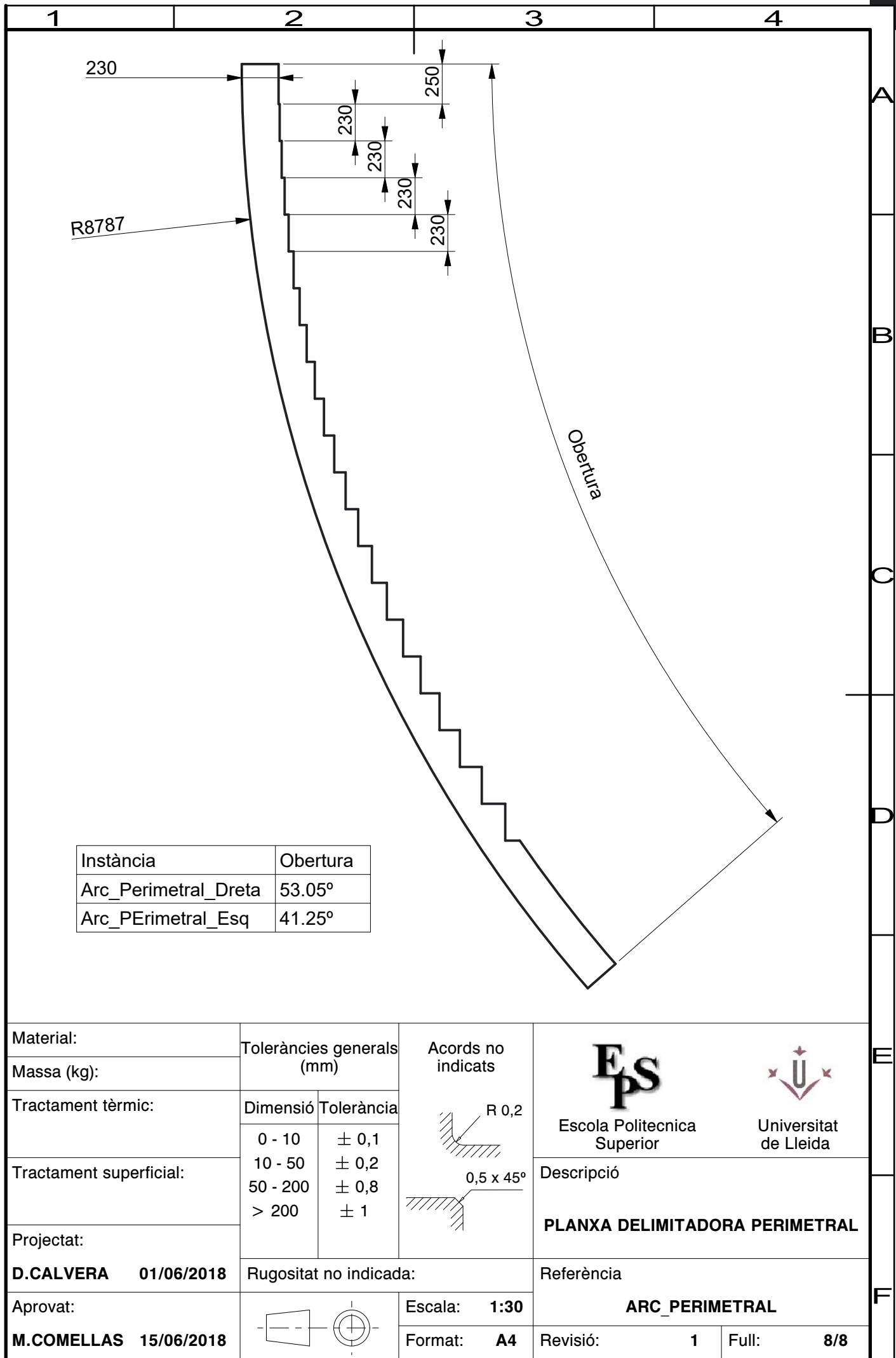




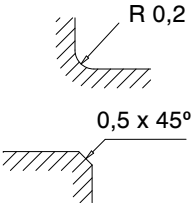
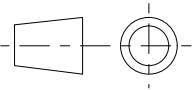
ESCALA 1:5

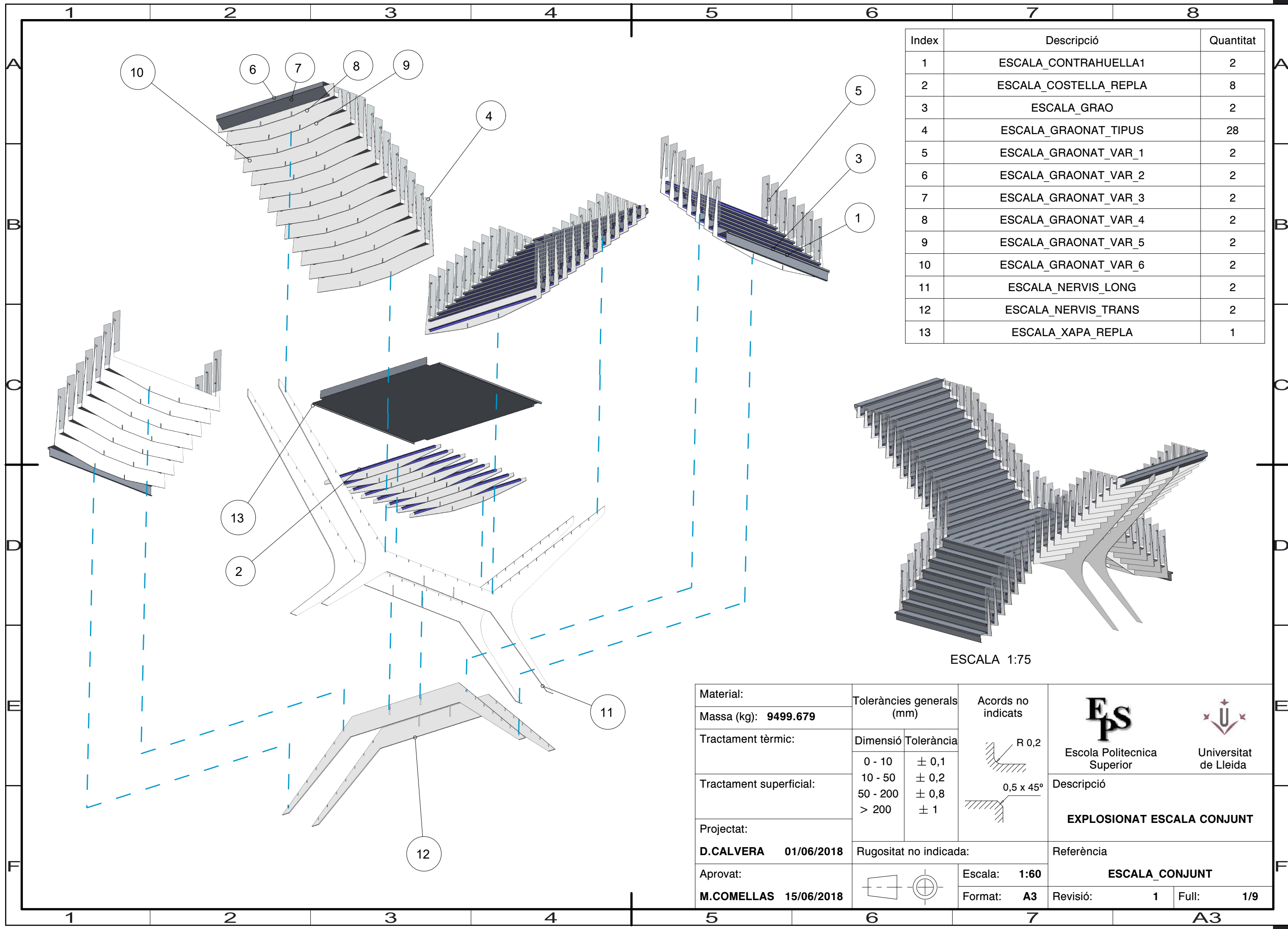


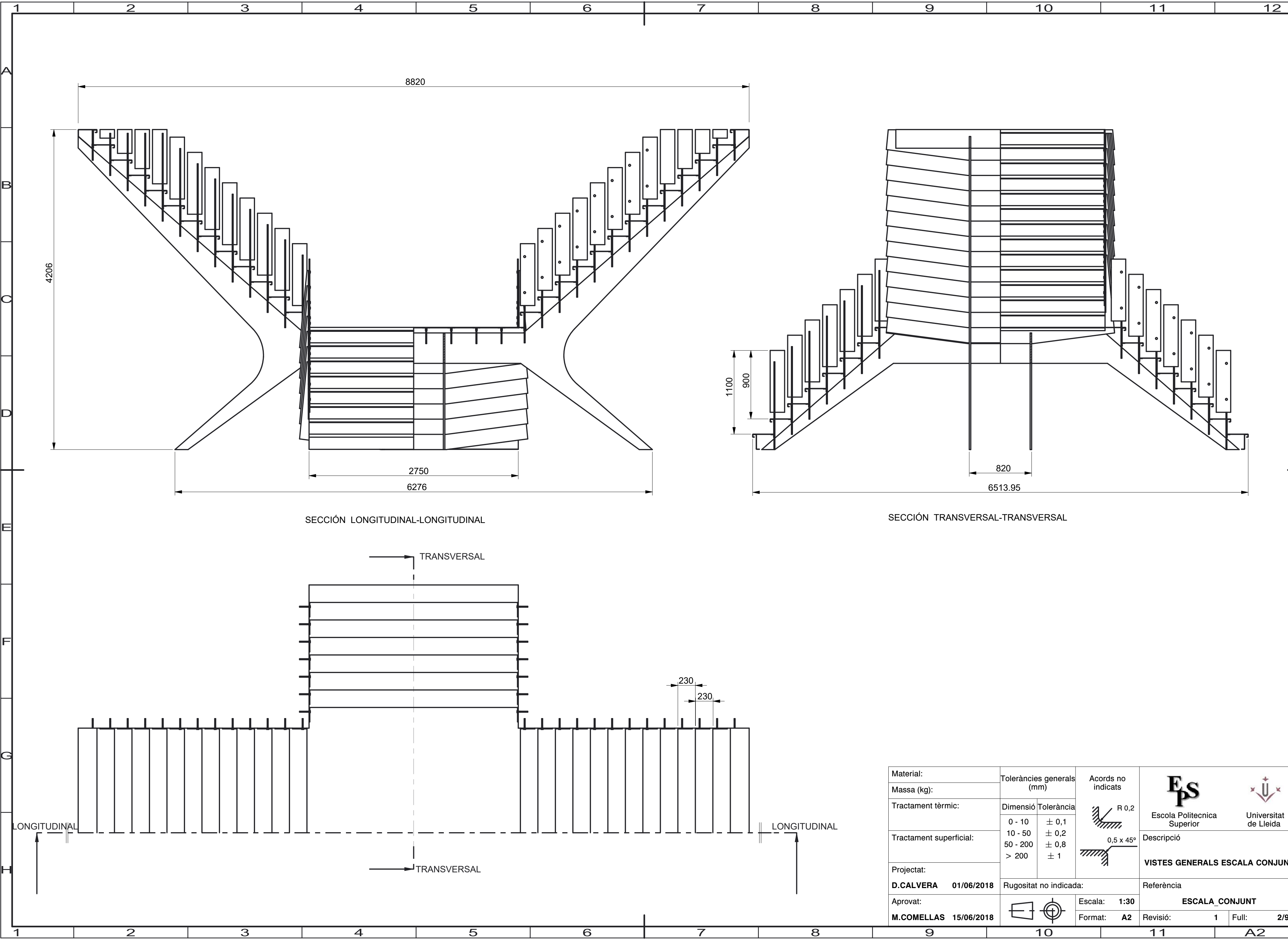
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats		
Massa (kg): 3.137					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Escola Politecnica Superior	Universitat de Lleida
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
	> 200	± 1			
Projectat:			Descripció	PERFIL RECTANGULAR	
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:				Referència
Aprovat:					
M.COMELLAS 15/06/2018			Escala: 1:1	Revisió: 1	Full: 5/8
			Format: A4		





Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats				
Massa (kg):							
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			Descripció PLANXA DELIMITADORA PERIMETRAL		
	0 - 10	± 0,1					
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2	Referència ARC_PERIMETRAL				
	50 - 200	± 0,8					
	> 200	± 1					
Projectat:			Escala: 1:30	Revisió: 1 Full: 8/8			
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:					Format: A4	
Aprovat:							
M.COMELLAS 15/06/2018							





SECCIÓN LONGITUDINAL-LONGITUDINAL

SECCIÓN TRANSVERSAL-TRANSVERSAL

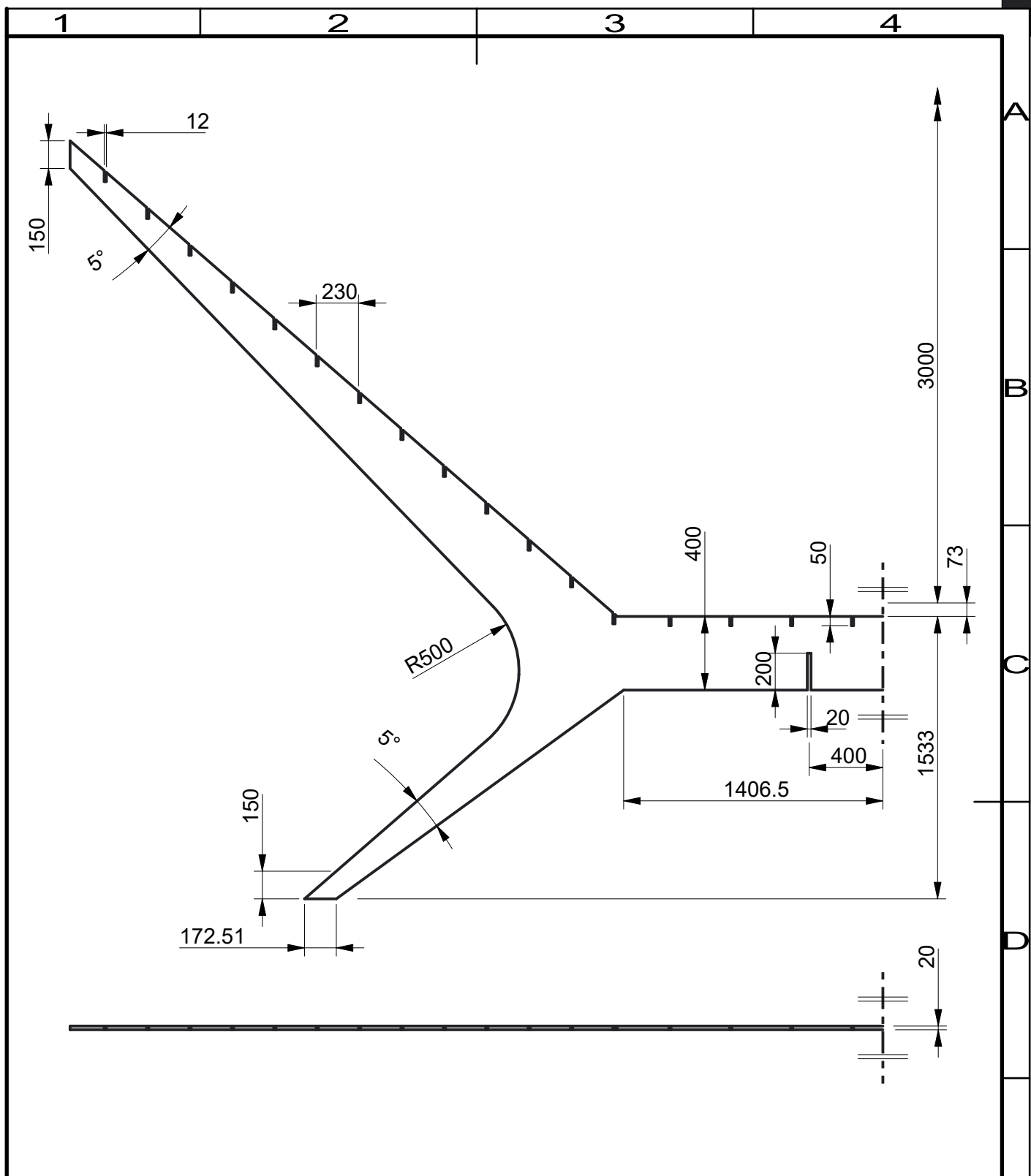
TRANSVERSAL

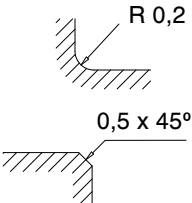


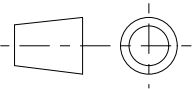
TRANSVERSAL

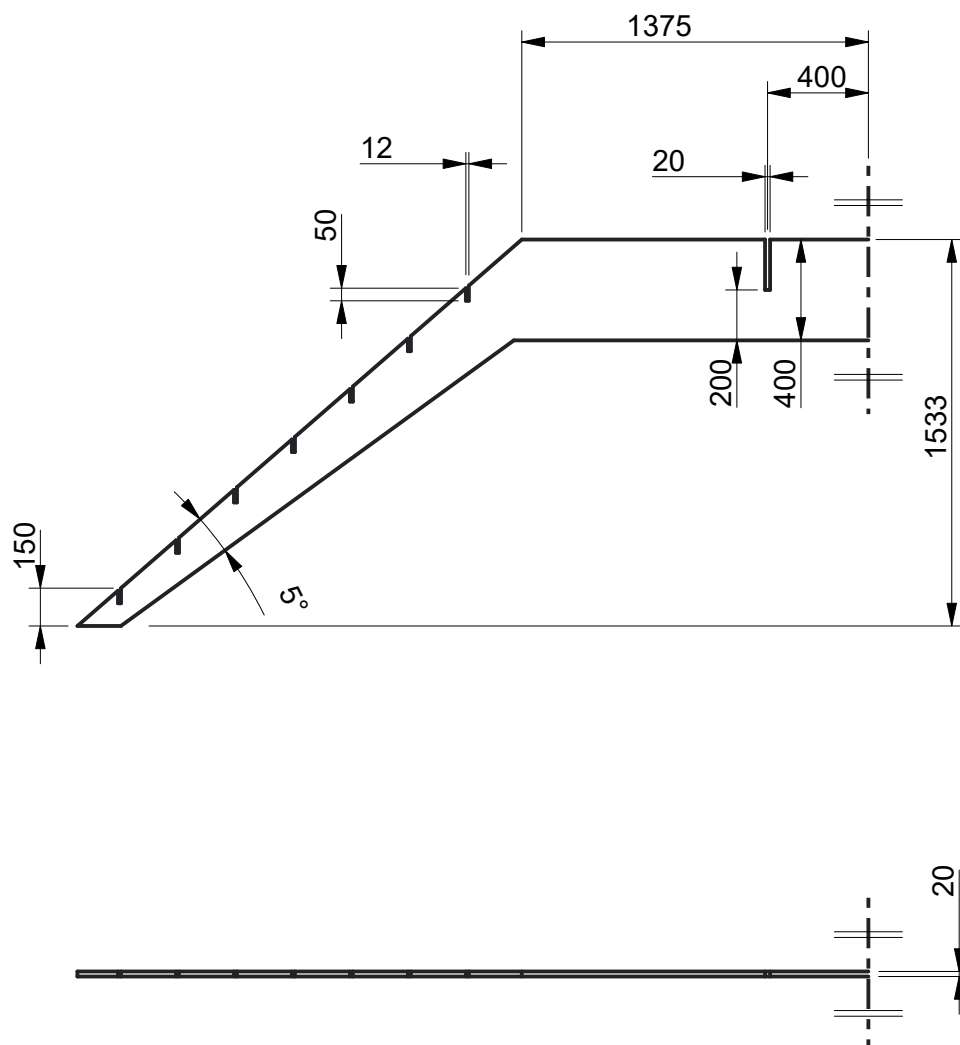
LONGITUDINAL



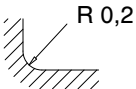
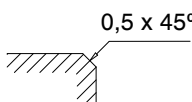
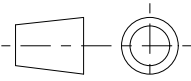
LONGITUDINAL

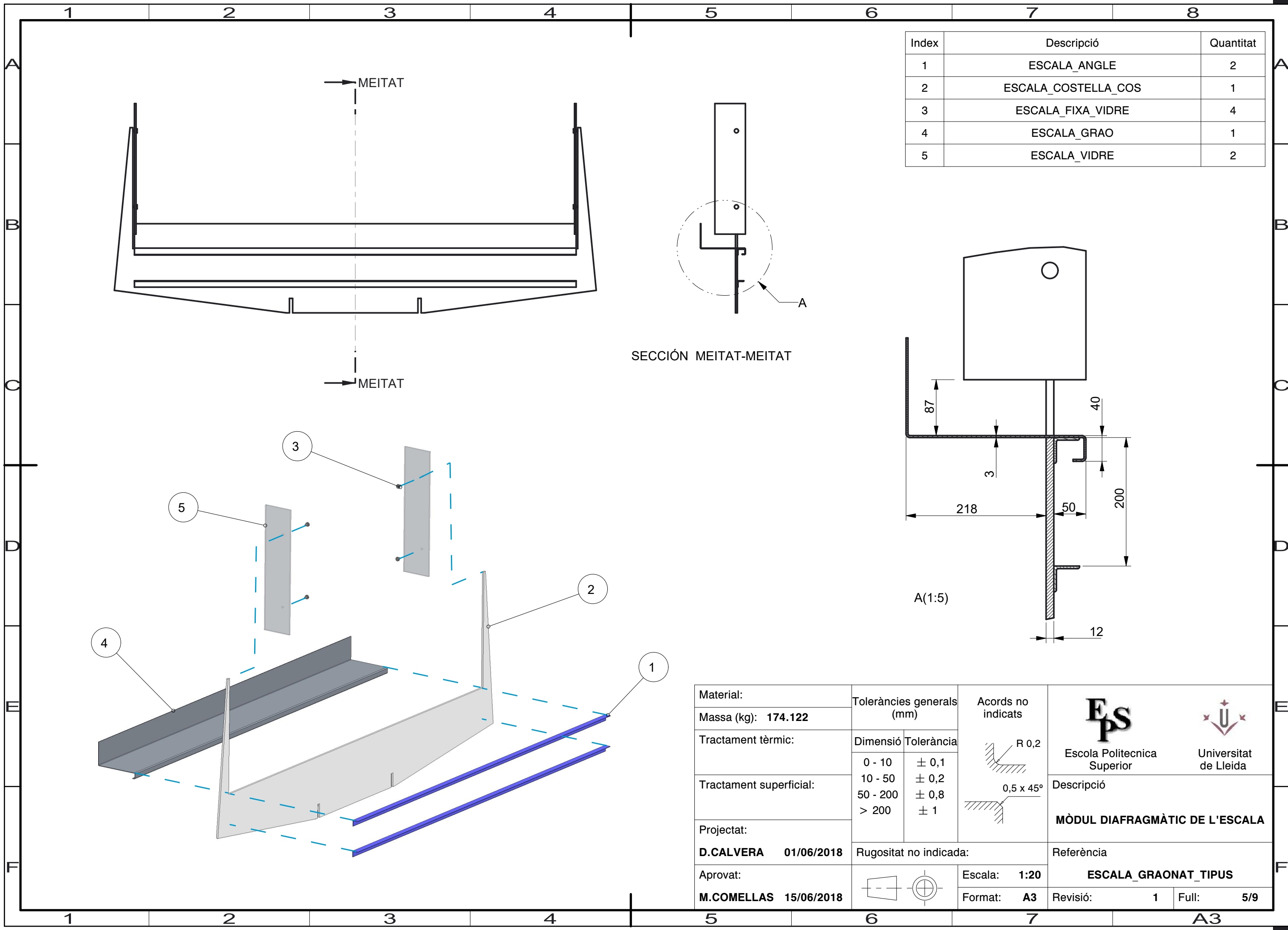
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	<div><div>Escola Politècnica Superior</div><div>Universitat de Lleida</div></div>	
Massa (kg):					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància	<div><div>R 0,2</div><div>0,5 x 45°</div></div>	Descripció	
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2		VISTES GENERALS ESCALA CONJUNT	
	50 - 200	± 0,8			
Projectat:	Rugositat no indicada:		Escala: 1:30	Referència	
D.CALVERA 01/06/2018					
Aprovat:	<div><div></div><div></div></div>		Format: A2	ESCALA_CONJUNT	
M.COMELLAS 15/06/2018					
				Revisió: 1	Full: 2/9



Material:	Toleràncies generals (mm)		<div>Acords no indicats</div> <div></div>	<div></div> <div>Escola Politecnica Superior</div>		<div></div> <div>Universitat de Lleida</div>	
Massa (kg): 664.988				Dimensió	Tolerància	<div>Descripció</div> <div>NERVIS DE SUPORT LONGITUDINAL</div>	
Tractament tèrmic:	0 - 10	± 0,1					
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2					
	50 - 200	± 0,8					
Projectat:	> 200	± 1	<div>Referència</div> <div>ESCALA_NERVIS_LONG</div>				
	Rugositat no indicada:						
D.CALVERA 01/06/2018	<div></div>		Escala: 1:30	<div>Revisió: 1 Full: 3/9</div>			
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4				



Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats		
Massa (kg): 305.777					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància	 	Descripció NERVIS DE SUPORT TRANSVERSAL	
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
Projectat:	> 200	± 1		Referència ESCALA_NERVIS_TRANS	
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:				
Aprovat:			Escala: 1:30	ESCALA_NERVIS_TRANS	
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4		



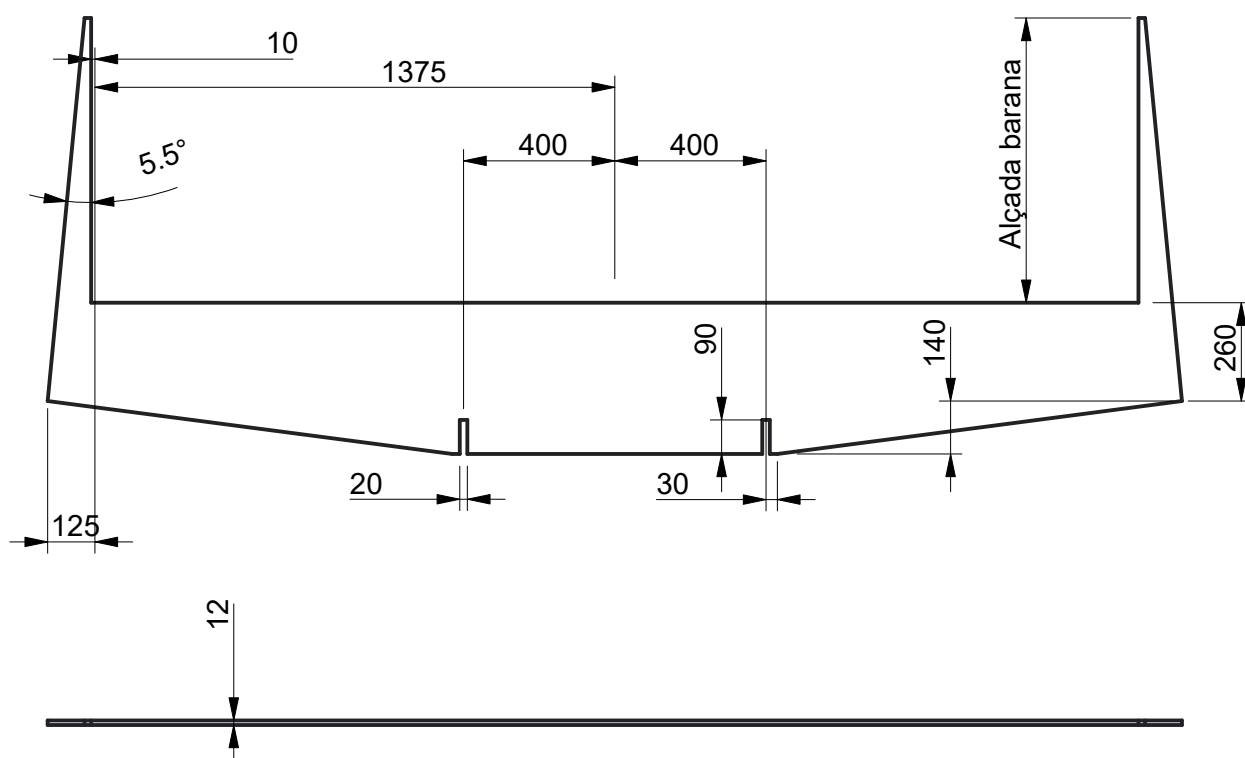
1

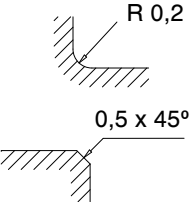


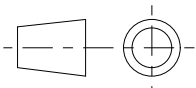
2

3

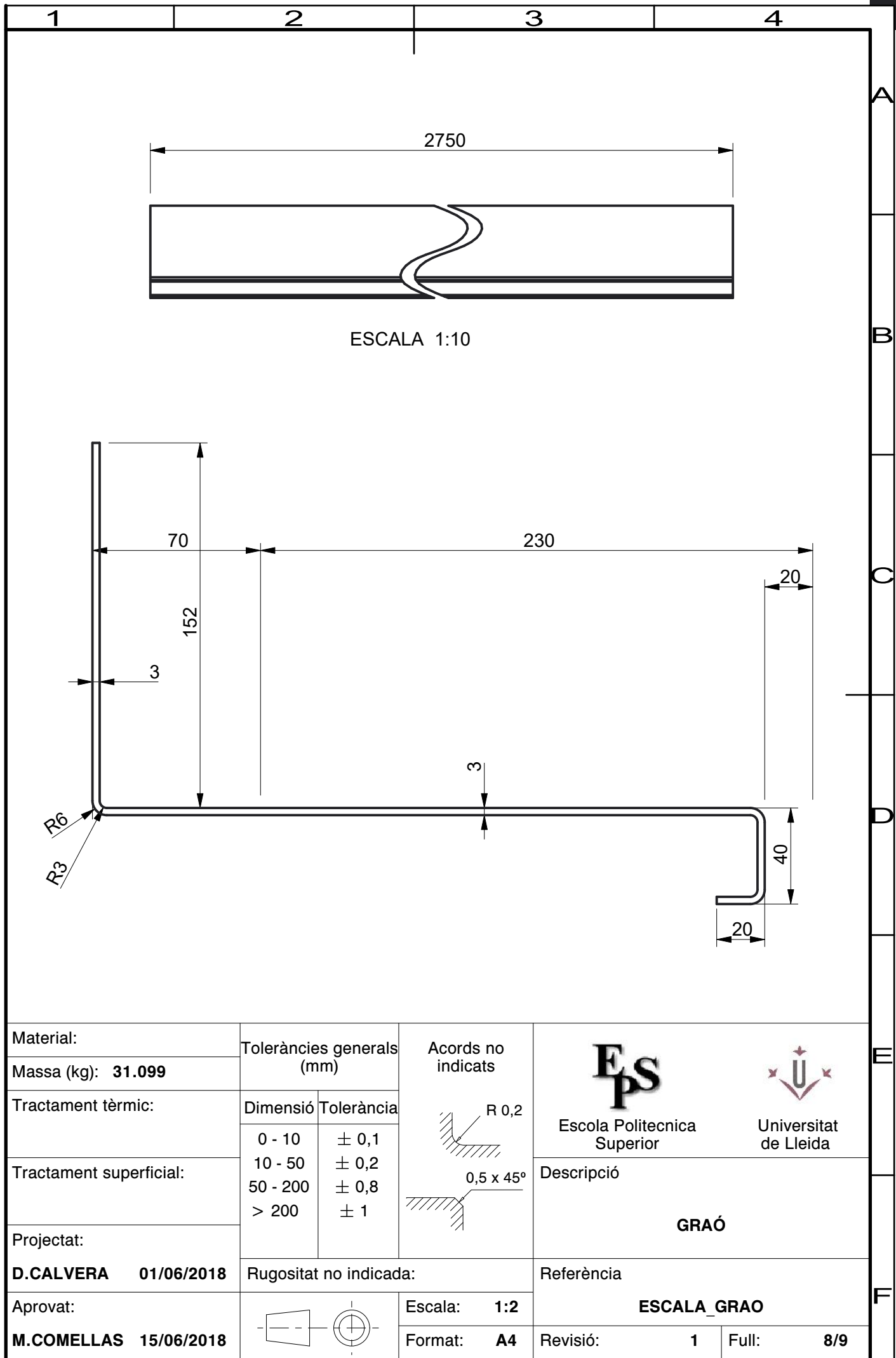
4

Instància	Alçada barana
Escala_Costella_Cos	753 mm
Escala_Costella_Cos_Var2	553 mm
Escala_Costella_Cos_Var3	353 mm
Escala_Costella_Cos_Var4	153 mm
Escala_Costella_Cos_Var5	0 mm
Escala_Costella_Cos_Replà	-190 mm

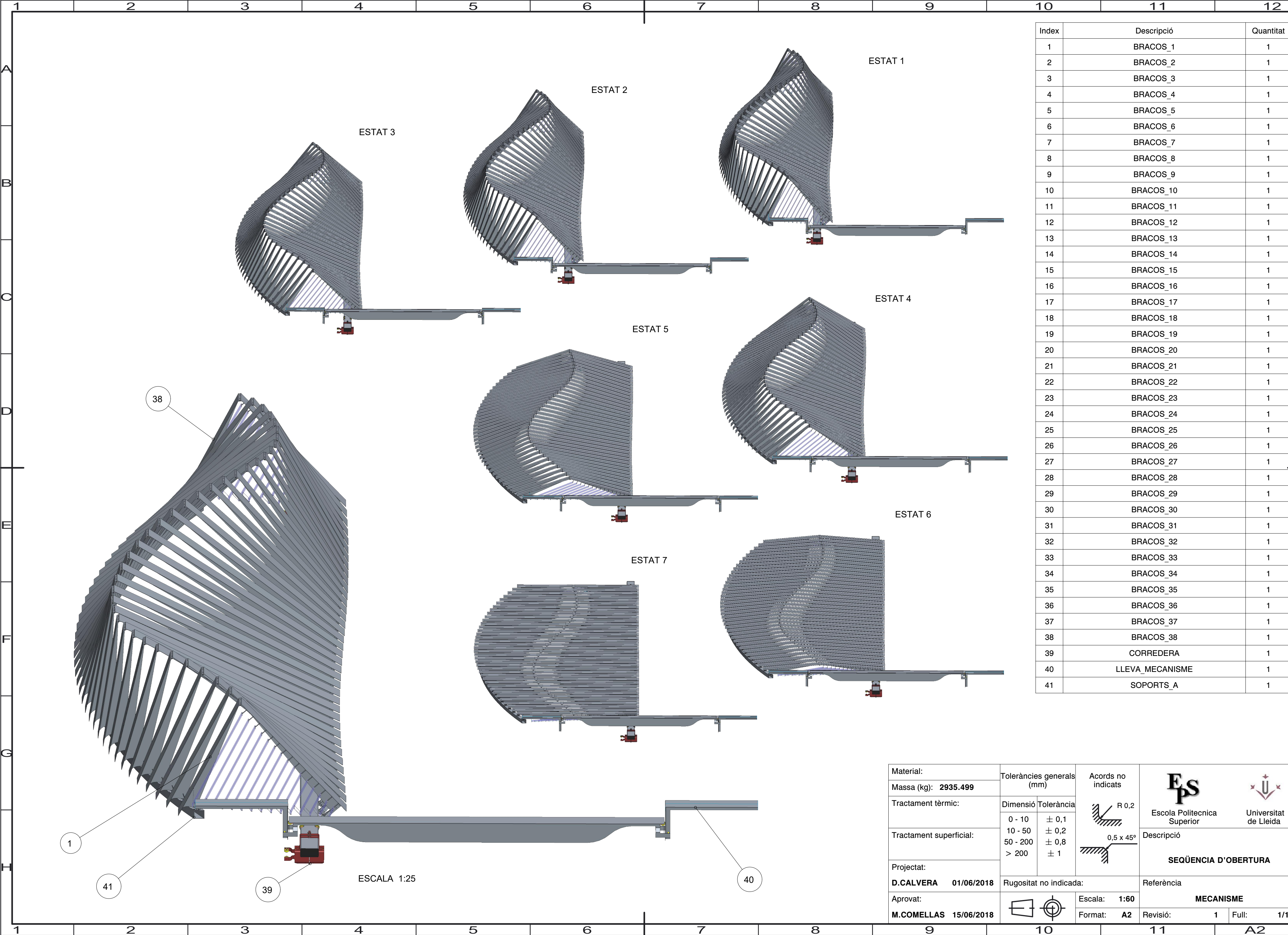


Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats		 Escola Politecnica Superior		 Universitat de Lleida	
Massa (kg): 105.596								
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			Descripció COSTELLA ESTRUCTURAL DEL MÒDUL			
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1						
	10 - 50	± 0,2						
	50 - 200	± 0,8						
Projectat:	> 200	± 1	Referència ESCALA_COSTELLA_COS		Revisió: 1		Full: 6/9	
	D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:						
Aprovat:			Escala: 1:20					
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4					


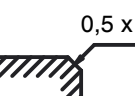



1		2		3		4	
<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div>							



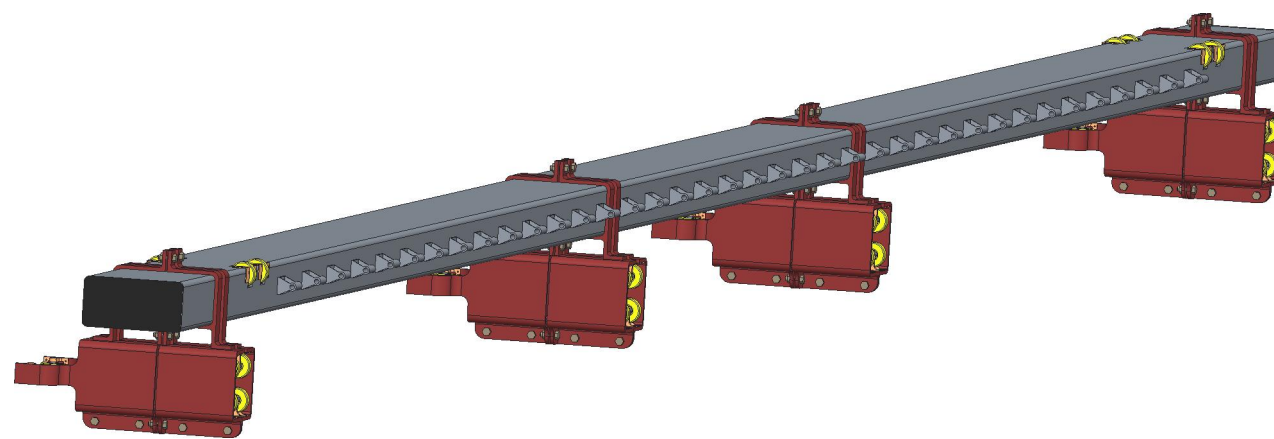
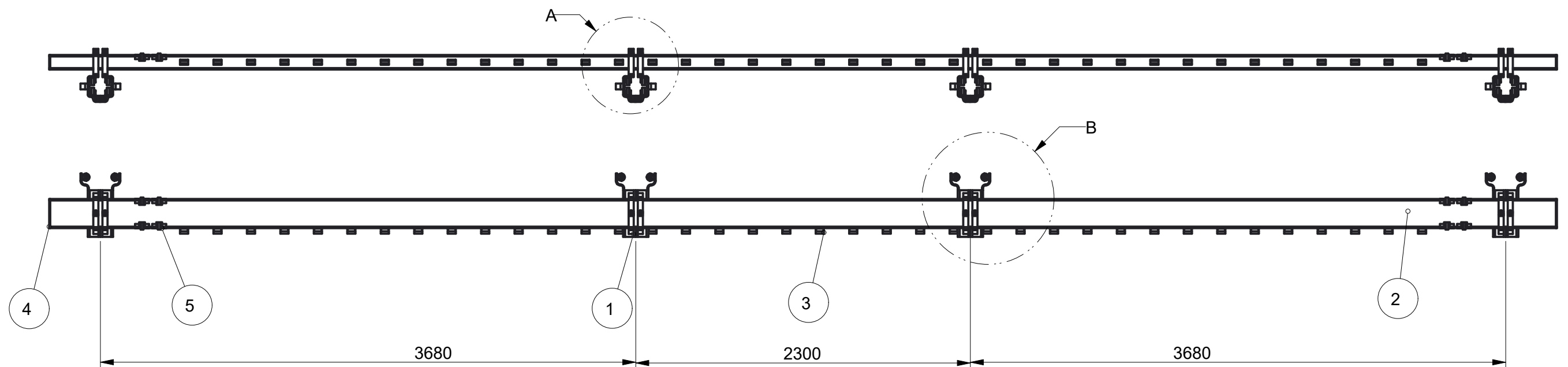
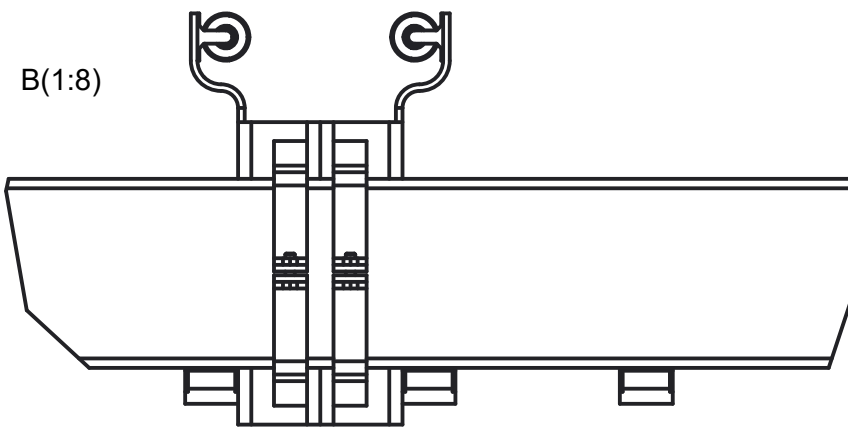
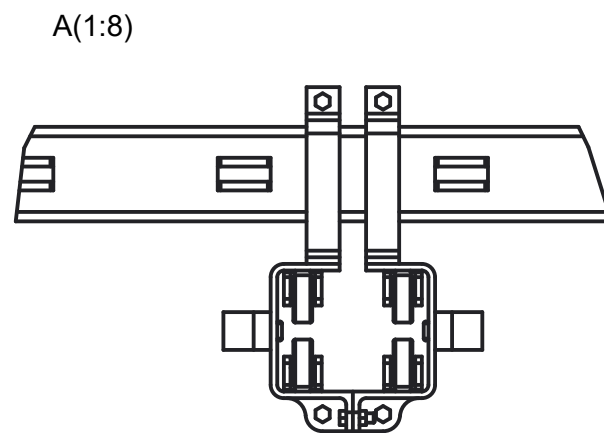
1	2	3	4																																																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Instància</th> <th>Alçada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Escala_Vidre</td> <td>813 mm</td> </tr> <tr> <td>Escala_Vidre_Var3</td> <td>113 mm</td> </tr> <tr> <td>Escala_Vidre_Var4</td> <td>313 mm</td> </tr> <tr> <td>Escala_Vidre_Var5</td> <td>513 mm</td> </tr> <tr> <td>Escala_Vidre_Var6</td> <td>713 mm</td> </tr> </tbody> </table>		Instància	Alçada	Escala_Vidre	813 mm	Escala_Vidre_Var3	113 mm	Escala_Vidre_Var4	313 mm	Escala_Vidre_Var5	513 mm	Escala_Vidre_Var6	713 mm																																								
Instància	Alçada																																																						
Escala_Vidre	813 mm																																																						
Escala_Vidre_Var3	113 mm																																																						
Escala_Vidre_Var4	313 mm																																																						
Escala_Vidre_Var5	513 mm																																																						
Escala_Vidre_Var6	713 mm																																																						
<table border="1"> <tr> <td>Material:</td> <td colspan="2" rowspan="2">Toleràncies generals (mm)</td> <td rowspan="2">Acords no indicats</td> <td rowspan="2"> </td> <td rowspan="2"> </td> </tr> <tr> <td>Massa (kg): 12.114</td> </tr> <tr> <td>Tractament tèrmic:</td> <td>Dimensió</td> <td>Tolerància</td> <td rowspan="4"> </td> <td colspan="2" rowspan="2">Descripció</td> </tr> <tr> <td>Tractament superficial:</td> <td>0 - 10</td> <td>± 0,1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>10 - 50</td> <td>± 0,2</td> <td colspan="2" rowspan="2"> VIDRE DEL PASSAMÀ </td> </tr> <tr> <td></td> <td>50 - 200</td> <td>± 0,8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>> 200</td> <td>± 1</td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Projectat:</td> <td colspan="2">Rugositat no indicada:</td> <td colspan="3">Referència</td> </tr> <tr> <td>D.CALVERA 01/06/2018</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="3"> ESCALA_VIDRE </td> </tr> <tr> <td>Aprovat:</td> <td colspan="2"> </td> <td>Escala: 1:5</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>M.COMELLAS 15/06/2018</td> <td colspan="2"></td> <td>Format: A4</td> <td>Revisió: 1</td> <td>Full: 9/9</td> </tr> </table>		Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats			Massa (kg): 12.114	Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Descripció		Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1		10 - 50	± 0,2	VIDRE DEL PASSAMÀ			50 - 200	± 0,8		> 200	± 1				Projectat:	Rugositat no indicada:		Referència			D.CALVERA 01/06/2018			ESCALA_VIDRE			Aprovat:			Escala: 1:5			M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4	Revisió: 1	Full: 9/9
Material:	Toleràncies generals (mm)							Acords no indicats																																															
Massa (kg): 12.114																																																							
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Descripció																																																			
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1																																																					
	10 - 50	± 0,2		VIDRE DEL PASSAMÀ																																																			
	50 - 200	± 0,8																																																					
	> 200	± 1																																																					
Projectat:	Rugositat no indicada:		Referència																																																				
D.CALVERA 01/06/2018			ESCALA_VIDRE																																																				
Aprovat:			Escala: 1:5																																																				
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4	Revisió: 1	Full: 9/9																																																		





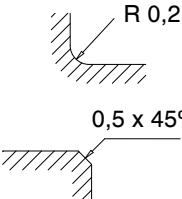
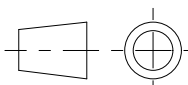
Index	Descripció	Quantitat
1	BRACOS_1	1
2	BRACOS_2	1
3	BRACOS_3	1
4	BRACOS_4	1
5	BRACOS_5	1
6	BRACOS_6	1
7	BRACOS_7	1
8	BRACOS_8	1
9	BRACOS_9	1
10	BRACOS_10	1
11	BRACOS_11	1
12	BRACOS_12	1
13	BRACOS_13	1
14	BRACOS_14	1
15	BRACOS_15	1
16	BRACOS_16	1
17	BRACOS_17	1
18	BRACOS_18	1
19	BRACOS_19	1
20	BRACOS_20	1
21	BRACOS_21	1
22	BRACOS_22	1
23	BRACOS_23	1
24	BRACOS_24	1
25	BRACOS_25	1
26	BRACOS_26	1
27	BRACOS_27	1
28	BRACOS_28	1
29	BRACOS_29	1
30	BRACOS_30	1
31	BRACOS_31	1
32	BRACOS_32	1
33	BRACOS_33	1
34	BRACOS_34	1
35	BRACOS_35	1
36	BRACOS_36	1
37	BRACOS_37	1
38	BRACOS_38	1
39	CORREDERA	1
40	LLEVA_MECANISME	1
41	SOPORTS_A	1

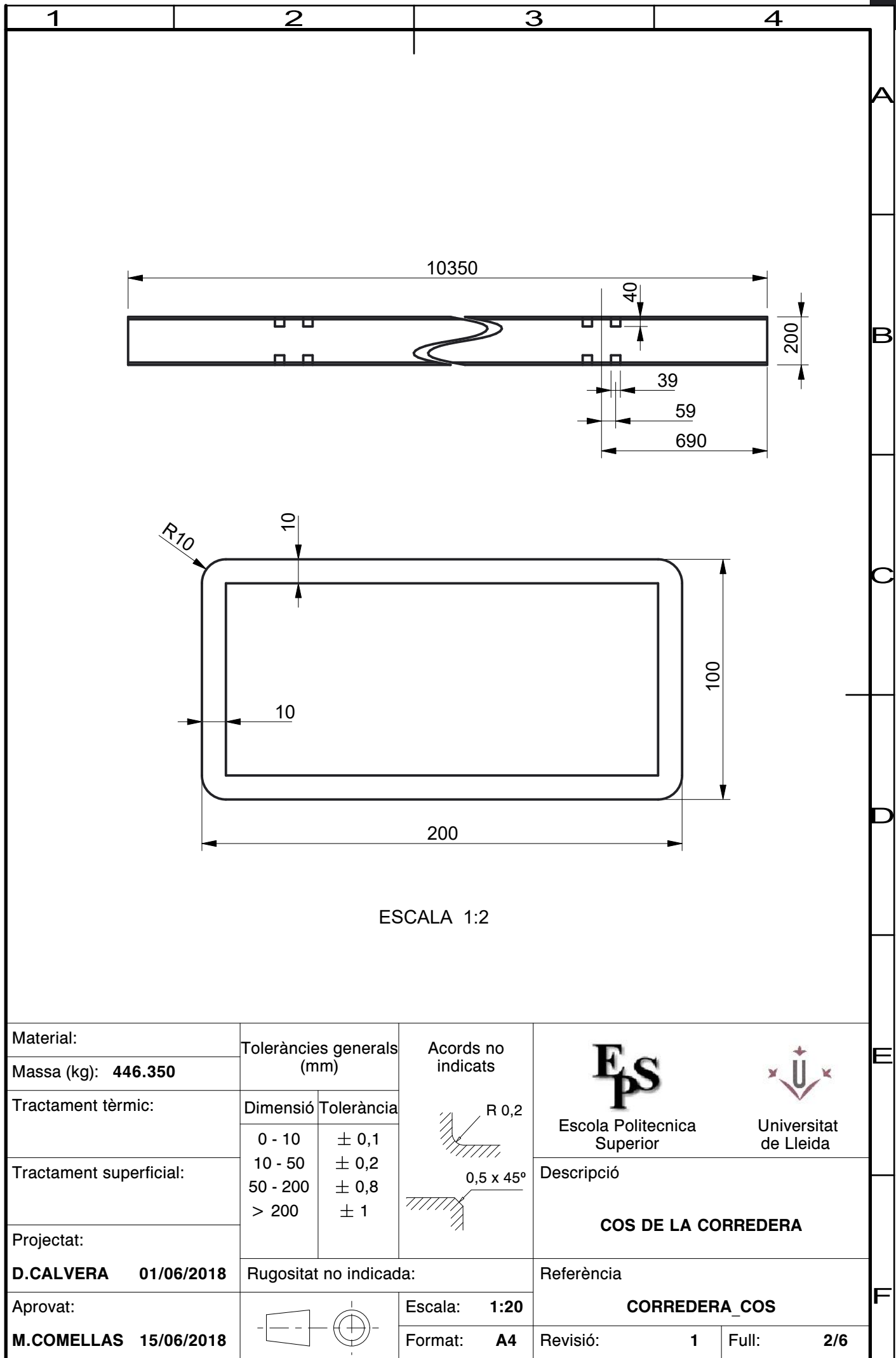
Material:	Toleràncies generals (mm)		<div>Acords no indicats</div> <div> R 0,2</div> <div> 0,5 x 45°</div>				
Massa (kg): 2935.499	Dimensió	Tolerància		Escola Politècnica Superior		Universitat de Lleida	
Tractament tèrmic:	0 - 10	± 0,1		<div>Descripció</div> <div>SEQÜÈNCIA D'OBERTURA</div>			
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2					
	50 - 200	± 0,8					
	> 200	± 1					
Projectat:	Rugositat no indicada:		<div>Referència</div> <div>MECANISME</div>				
D.CALVERA 01/06/2018							
Aprovat:							
M.COMELLAS 15/06/2018			Escala: 1:60	<div>Revisió: 1</div> <div>Full: 1/1</div>			
		Format: A2					

Index	Descripció	Quantitat
1	CARRILET	4
2	CORREDERA_COS	1
3	CORREDERA_ENGANXE_C	380
4	CORREDERA_TAPA	2
5	RODETA2	8



ESCALA 1:15

Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	 			
Massa (kg): 574.385							
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Escola Politècnica Superior Universitat de Lleida			
Tractament superficial:						0 - 10	± 0,1
						10 - 50	± 0,2
						50 - 200	± 0,8
Projectat:	> 200	± 1	Descripció				
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:			CONJUNT CORREDERA			
Aprovat:			Escala: 1:30	CORREDERA			
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A3			Revisió: 1	Full: 1/6



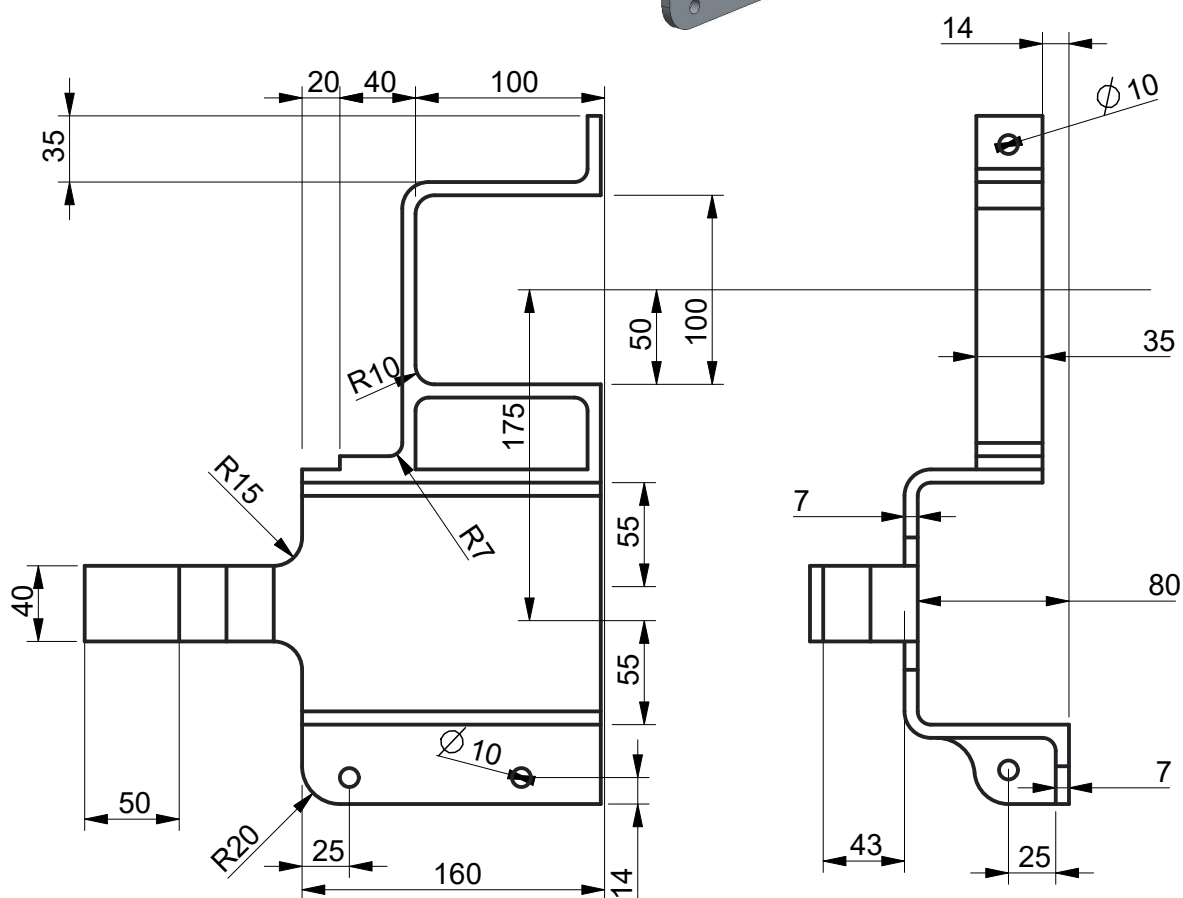
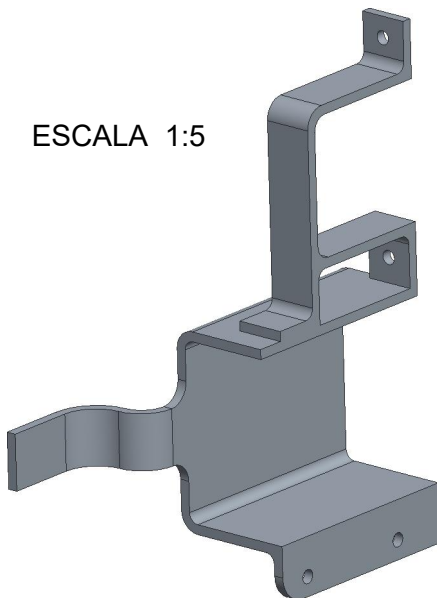
1

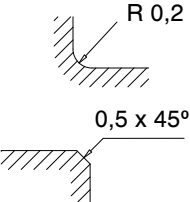


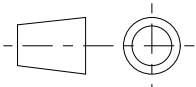
2

3

4

ESCALA 1:5



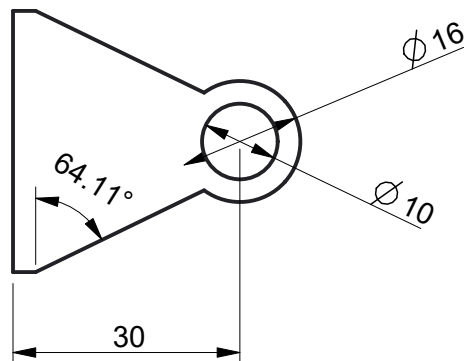
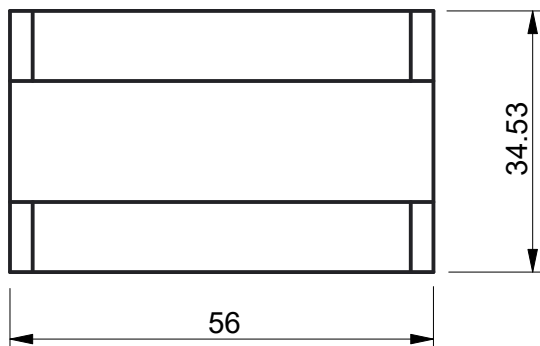
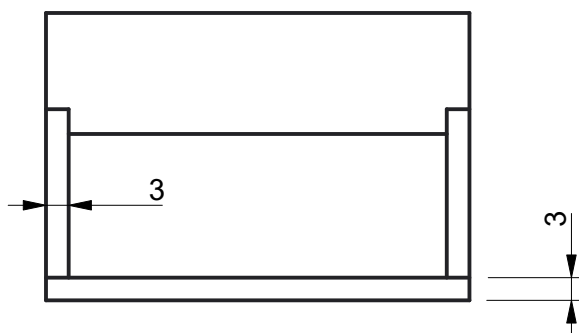
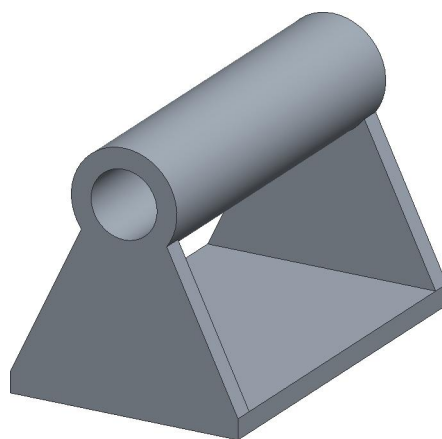
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats		 Escola Politecnica Superior		 Universitat de Lleida			
Massa (kg): 4.001										
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			Descripció					
Tractament superficial:									0 - 10	± 0,1
									10 - 50	± 0,2
			50 - 200	± 0,8						
	> 200	± 1								
Projectat:	Rugositat no indicada:		COS DEL CARRILET - 1/4 -							
D.CALVERA 01/06/2018										
Aprovat:			Escala: 1:4	CARRILET_COS						
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4					Revisió: 1	Full: 4/6	



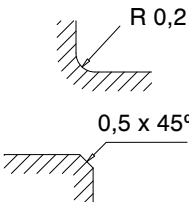
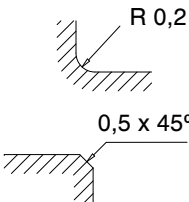
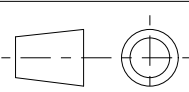
1

2

3

4



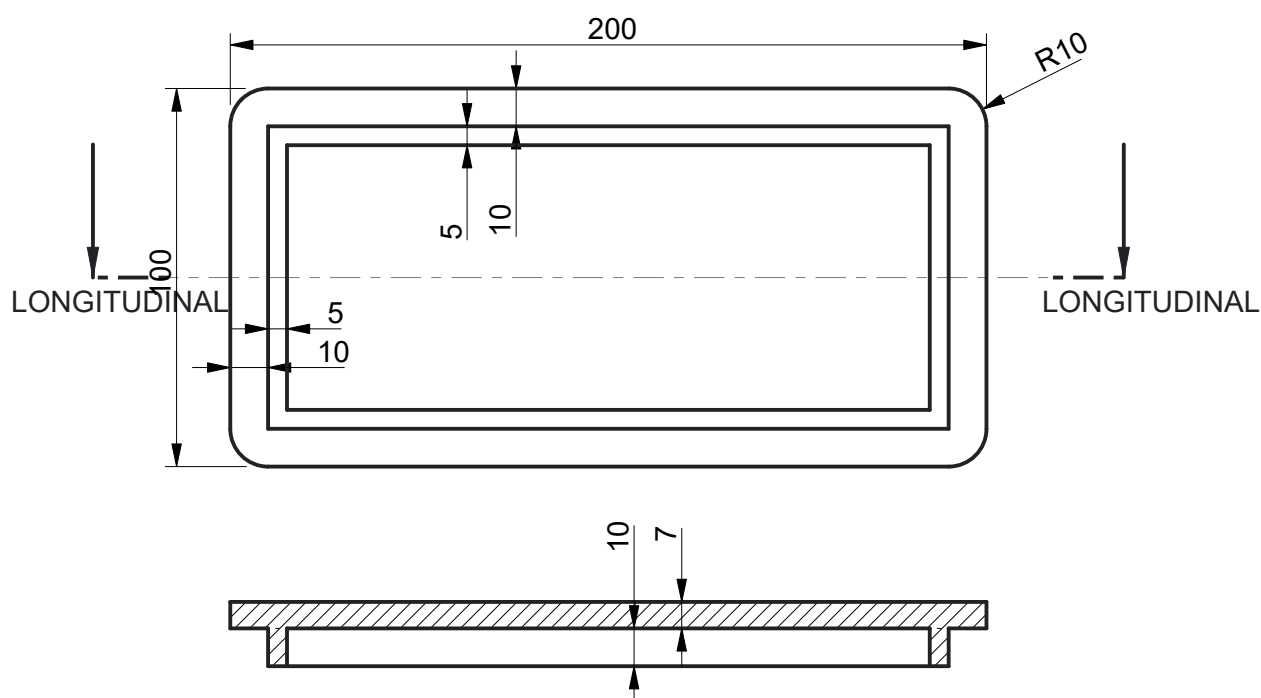
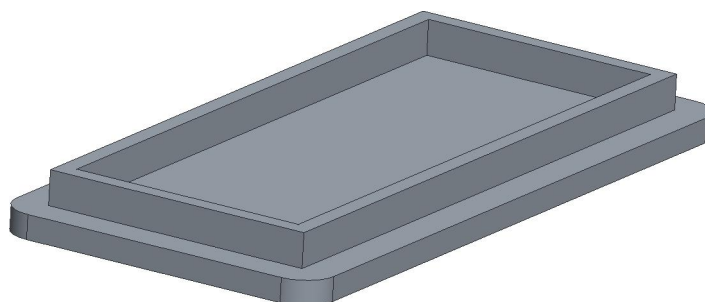
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats			
Massa (kg): 0.123						
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			Descripció	
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1				
	10 - 50	± 0,2				
	50 - 200	± 0,8				
Projectat:	> 200	± 1		FIXACIÓ CORREDERA AMB ART. "C"		
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:				Referència	
Aprovat:			Escala: 1:1	CORREDERA_ENGANXE_C		
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4			Revisió: 1

1



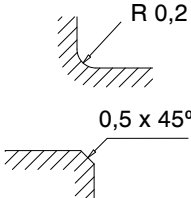
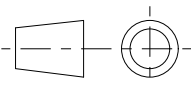
2

3

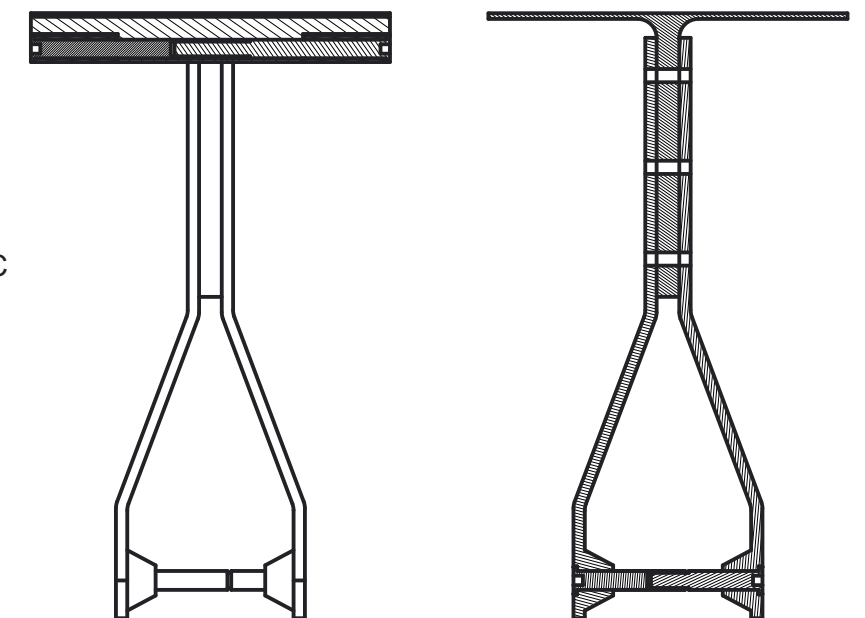
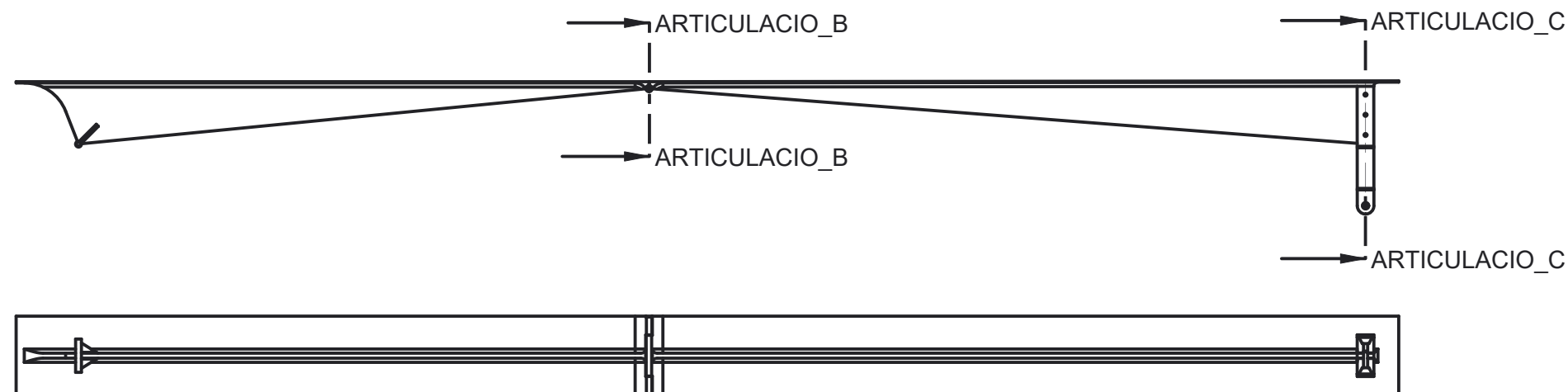
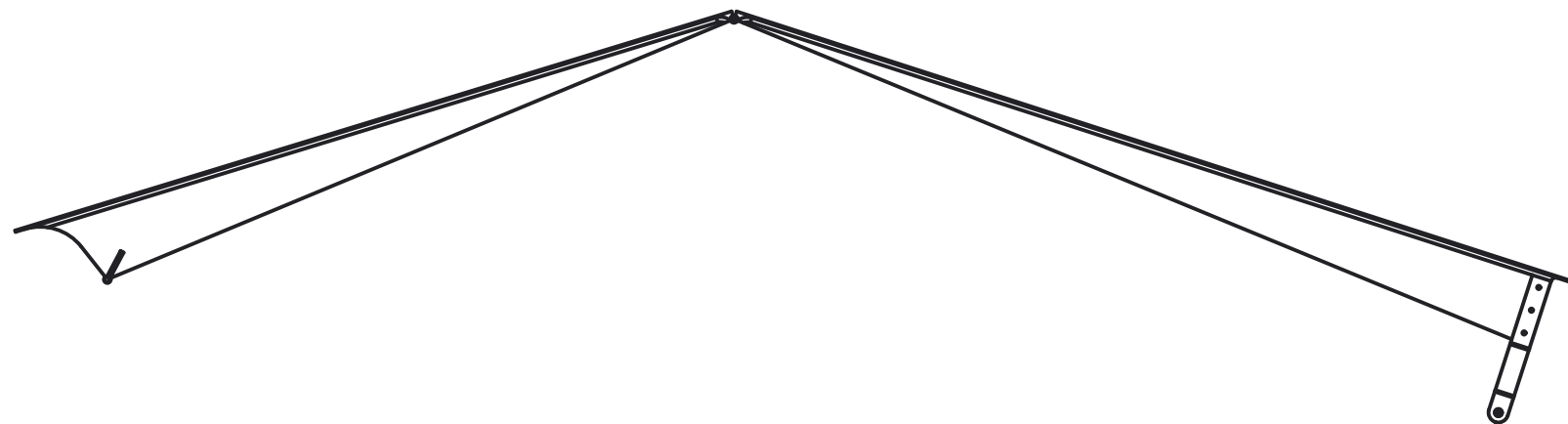
4



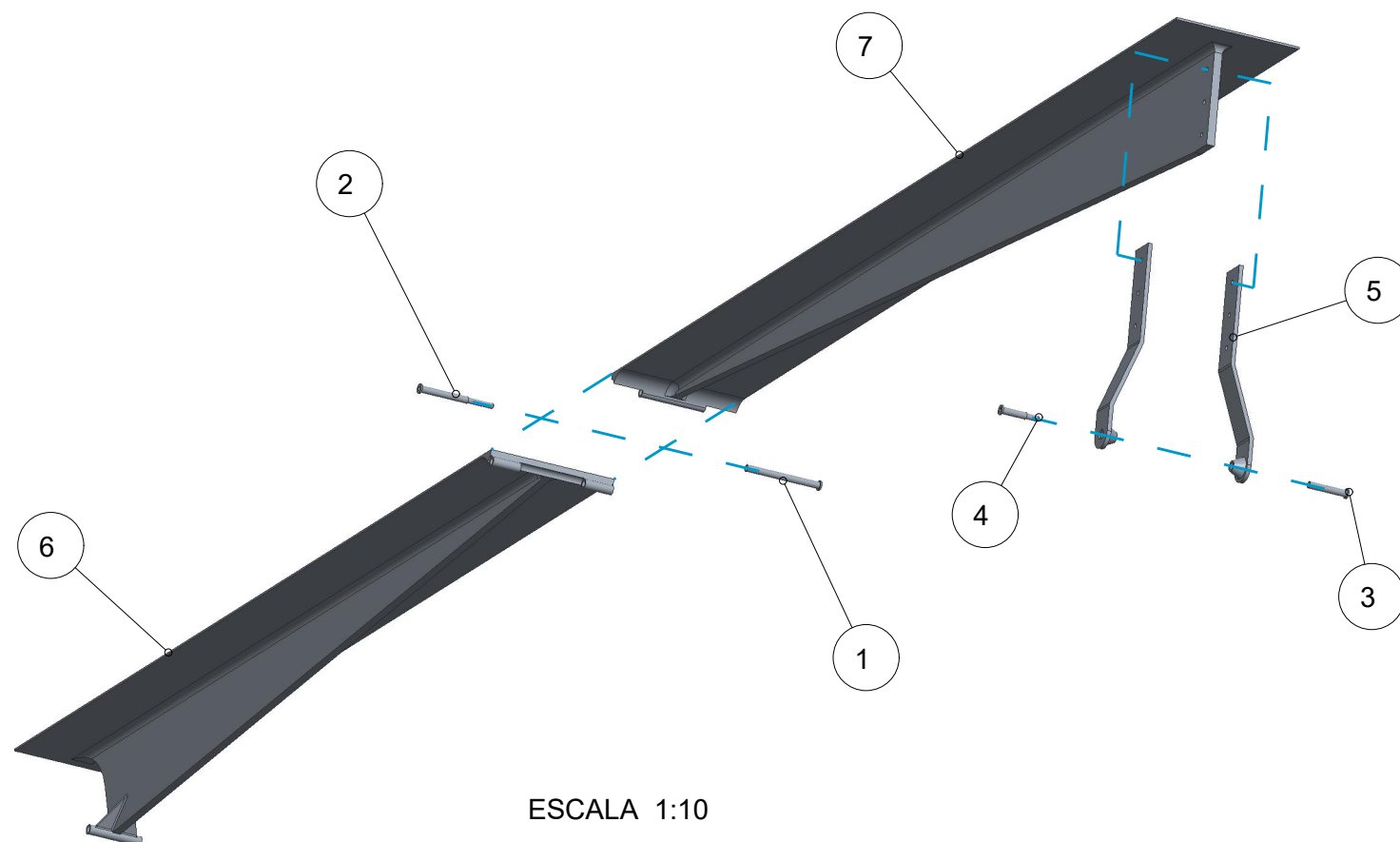
SECCIÓN LONGITUDINAL-LONGITUDINAL


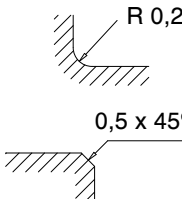
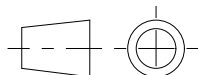
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats		
Massa (kg): 1.291					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
	> 200	± 1			
Projectat:	Rugositat no indicada:			Descripció	
D.CALVERA 01/06/2018					
Aprovat:			Escala: 1:2	CORREDERA_TAPA	
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4		

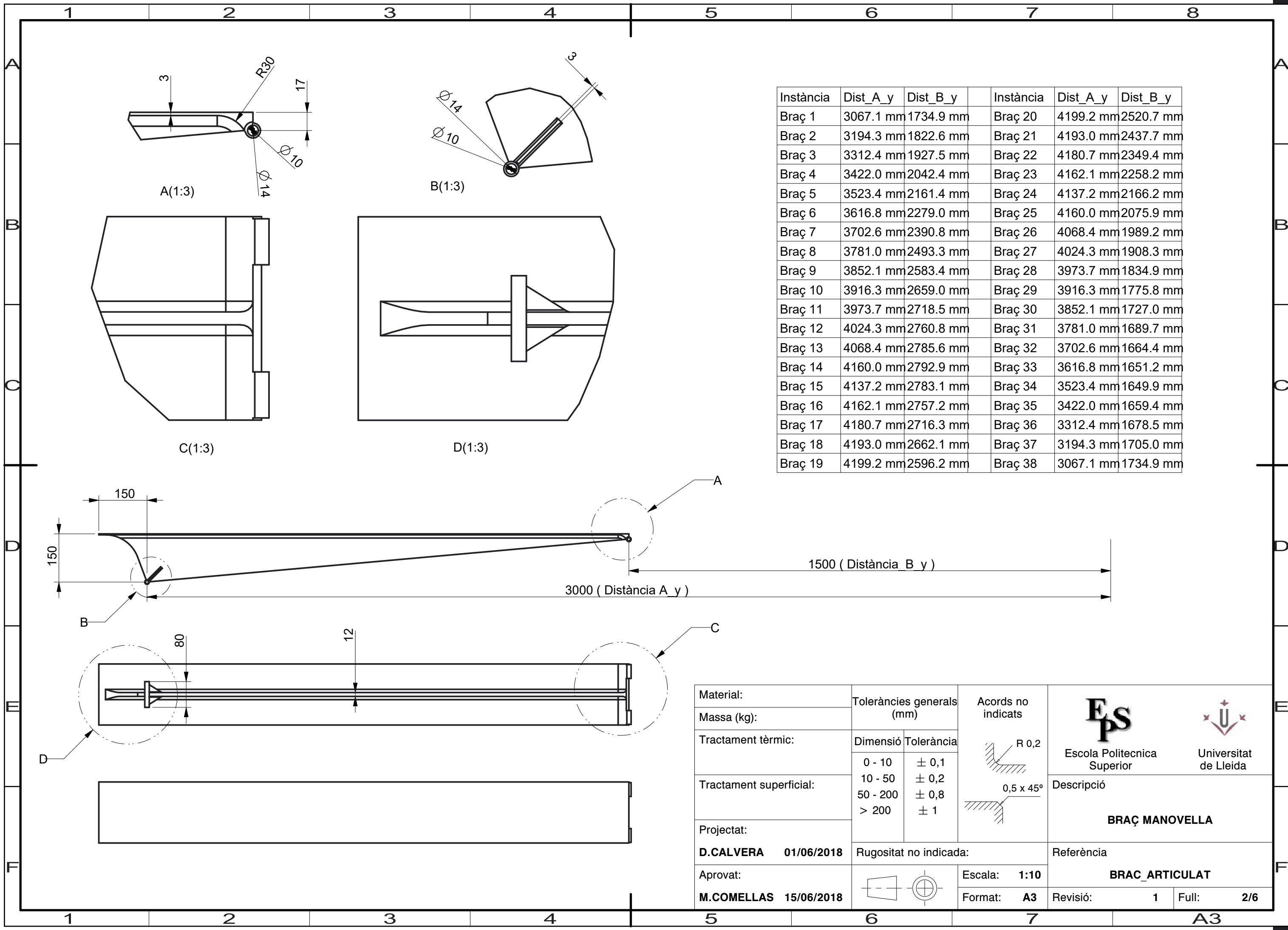
Index	Descripció	Quantitat
1	ART_B_FEMELLA	1
2	ART_B_MASCLE	1
3	ART_C_FEMELLA	1
4	ART_C_MASCLE	1
5	ART_C_PLETINA	2
6	BRAC_ARTICULAT_INST2	1
7	BRAC_BIELA_INST2	1

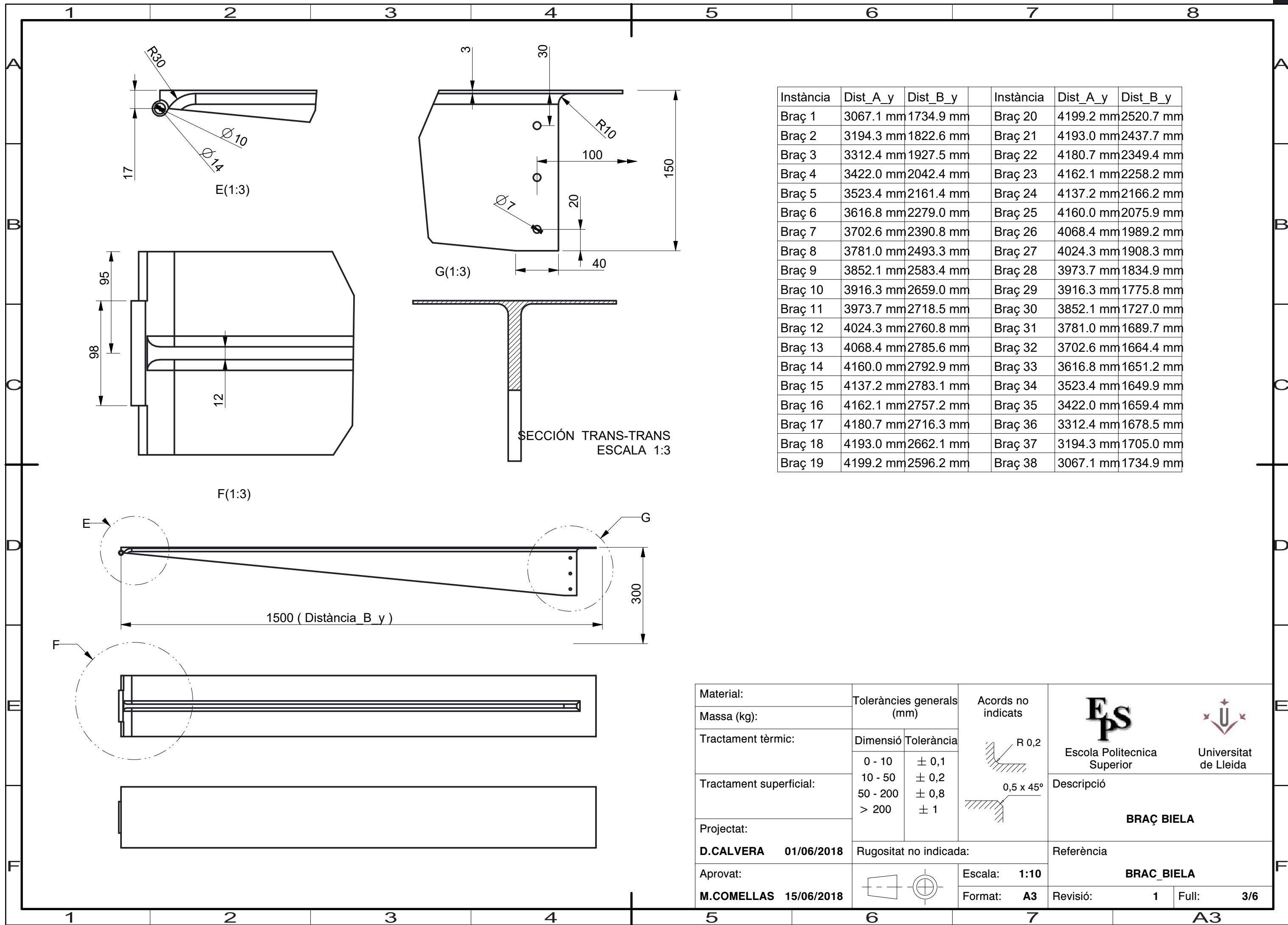


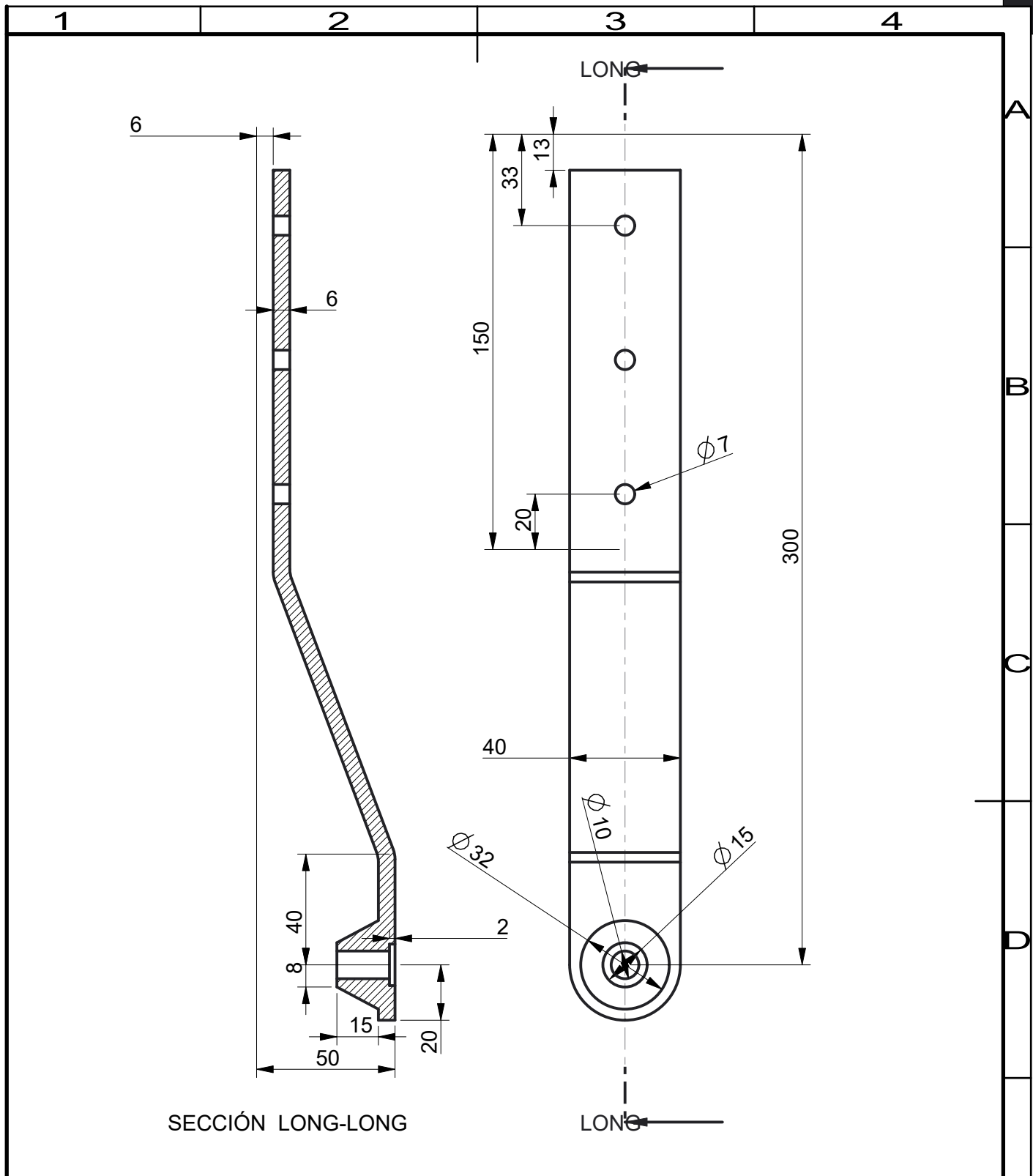
SECCIÓN ARTICULACIÓN B-ARTICULACIÓN B SECCIÓN ARTICULACIÓN C-ARTICULACIÓN C
 ESCALA 1:4 ESCALA 1:4

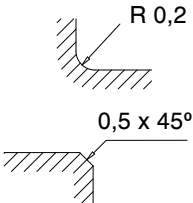


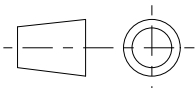


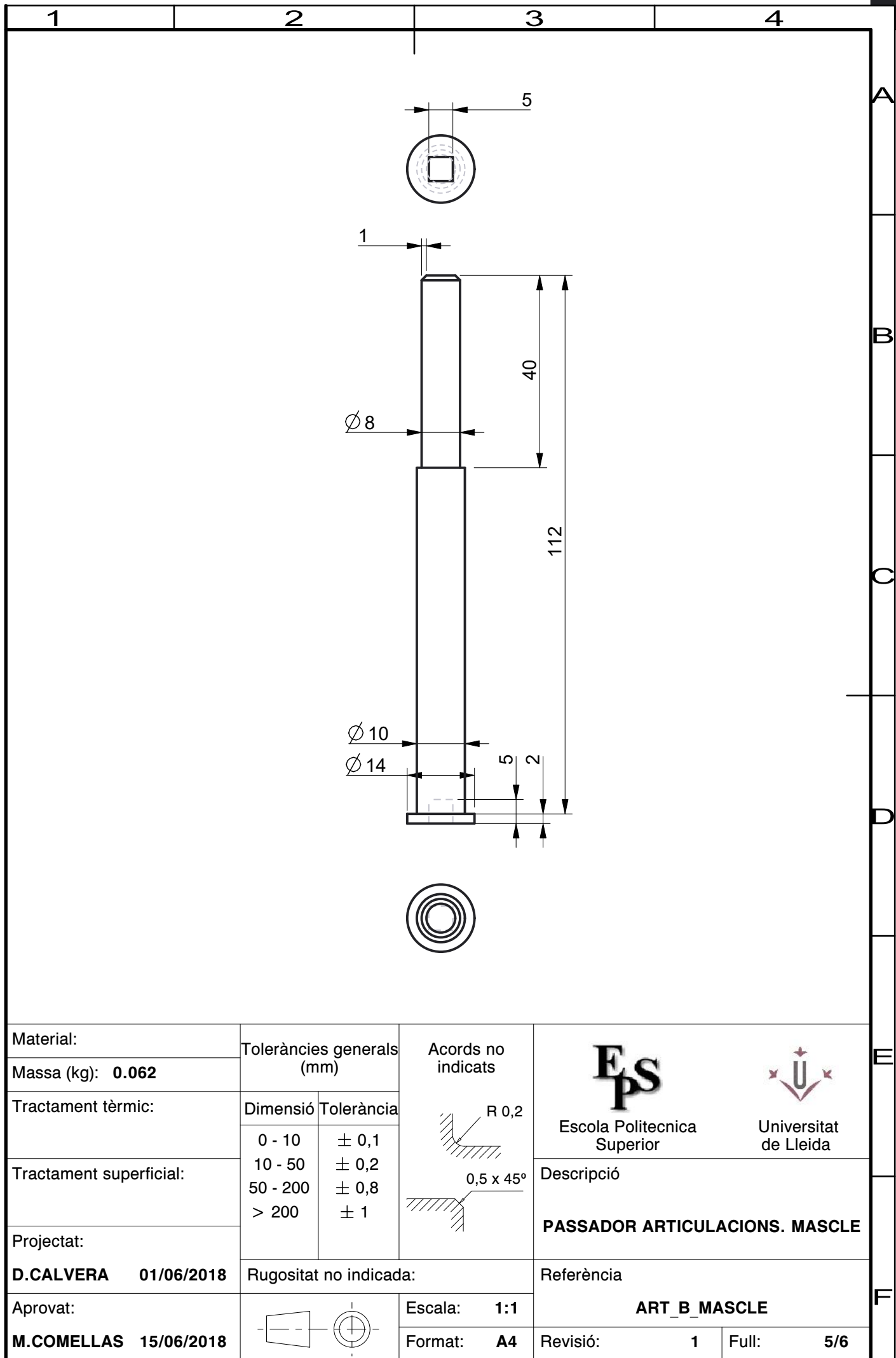
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	
Massa (kg):				
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Escola Politecnica Superior Universitat de Lleida
	0 - 10	± 0,1		
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2		
	50 - 200	± 0,8		
Projectat:	> 200	± 1	Descripció EXPLOSIONAT MECANISME BRAÇOS	
	Rugositat no indicada:			Referència BRACOS_2
Aprovat:			Escala: 1:15	
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A3	



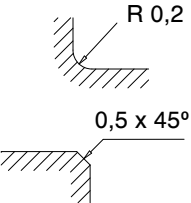


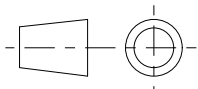


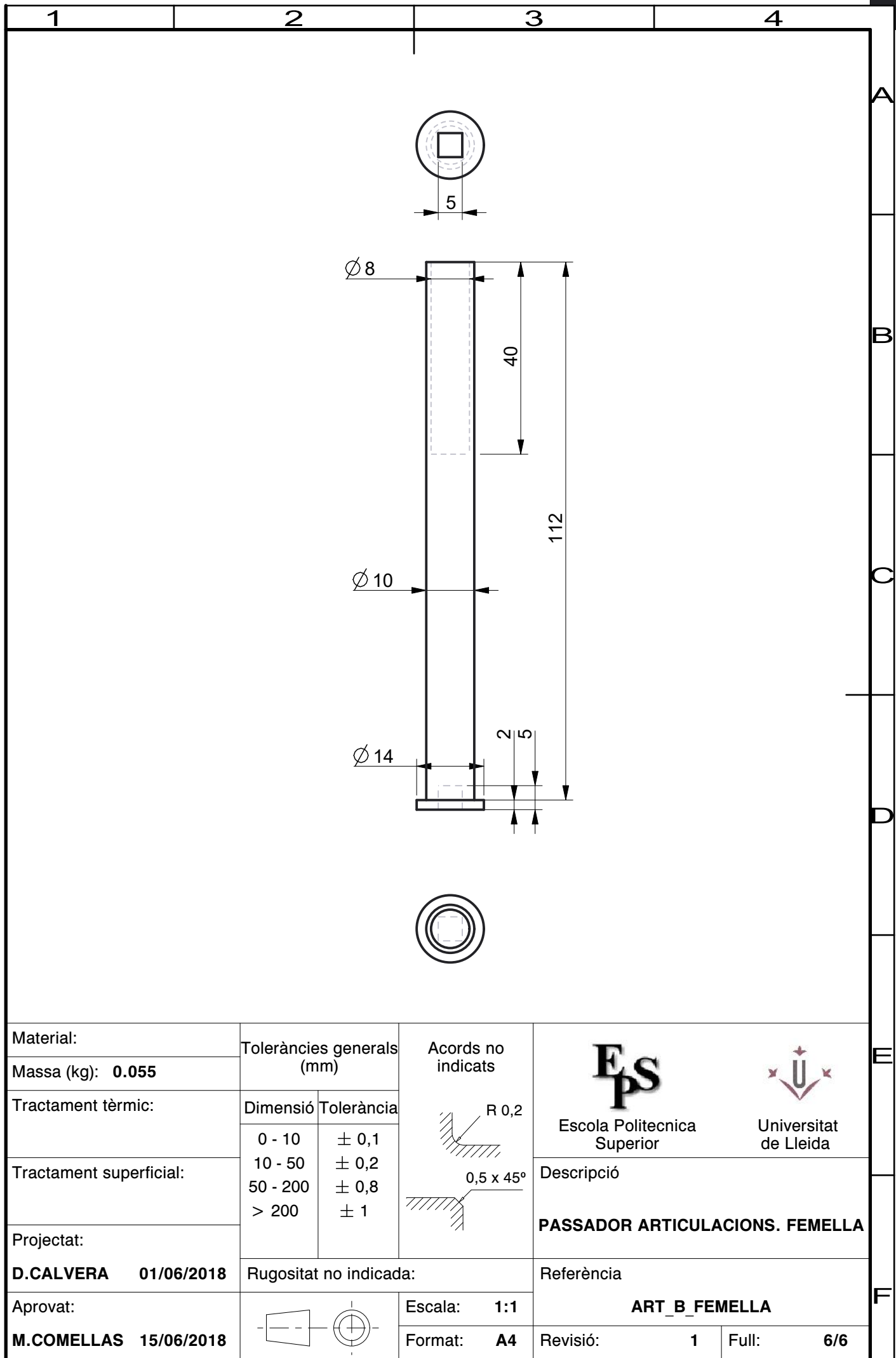


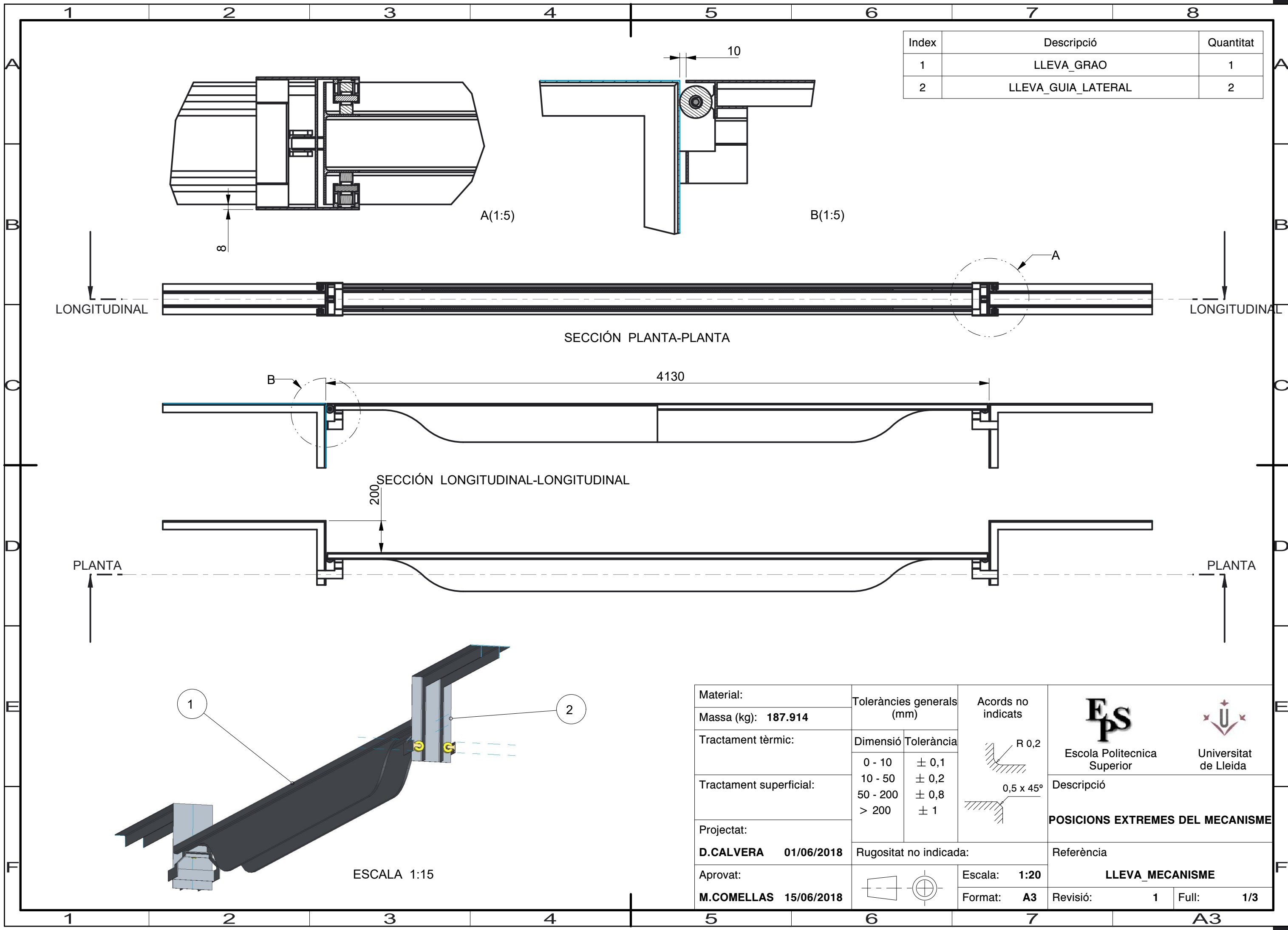
Material:	Toleràncies generals (mm)		<div>Acords no indicats</div> <div></div>	<div></div> <div>Escola Politecnica Superior</div>		<div></div> <div>Universitat de Lleida</div>		
Massa (kg): 0.619								
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		<div>Descripció</div> <div>PLETINA DE CONNEXIÓ AMB ART. C</div>				
	0 - 10	± 0,1						
	10 - 50	± 0,2						
	50 - 200	± 0,8						
Tractament superficial:	> 200	± 1						
Projectat:			<div>Referència</div> <div>ART_C_PLETINA</div>					
D.CALVERA 01/06/2018	Rugositat no indicada:							
Aprovat:	<div></div>		Escala: 1:2	<div>Revisió:</div> <div>1</div> <div>Full:</div> <div>4/6</div>				
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4					

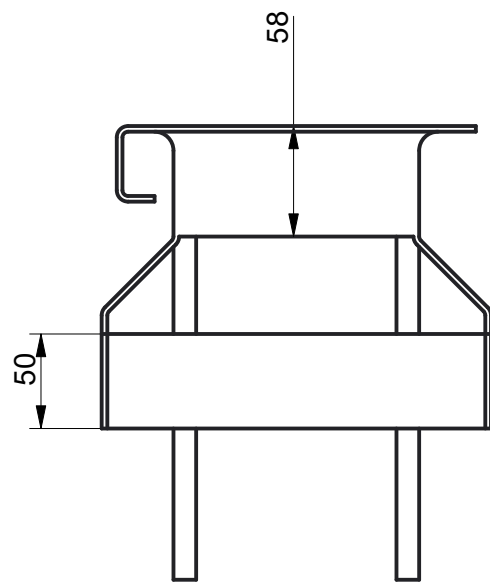


A
B
C
D
E
F

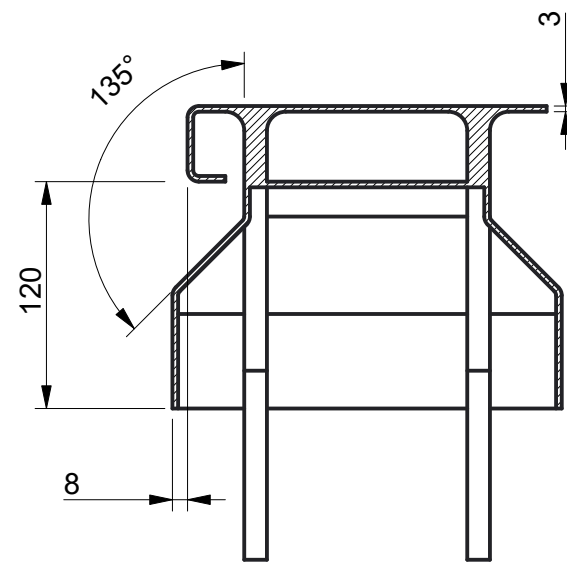
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats 				
Massa (kg): 0.062				Escola Politecnica Superior		Universitat de Lleida	
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Descripció			
	0 - 10	± 0,1					
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2	PASSADOR ARTICULACIONS. MASCLE				
	50 - 200	± 0,8					
	> 200	± 1					
Projectat:	Rugositat no indicada:			Referència			
D.CALVERA 01/06/2018							
Aprovat:			Escala: 1:1	ART_B_MASCLE			
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4				



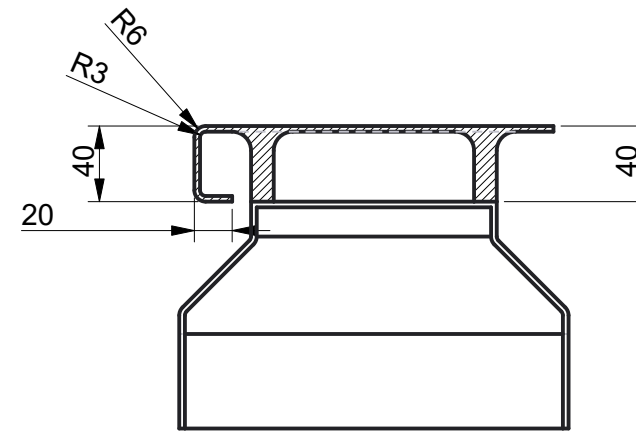




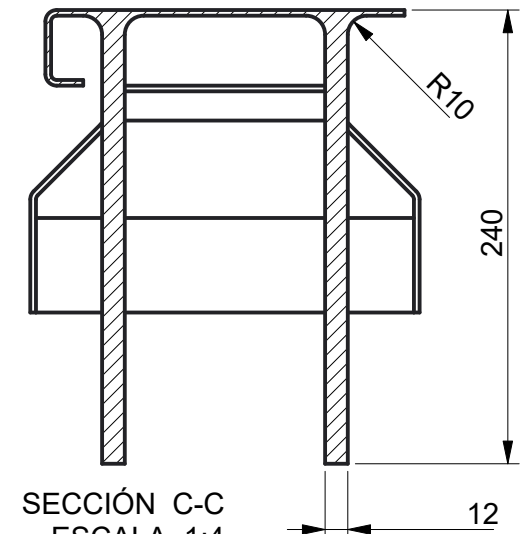
ESCALA 1:4



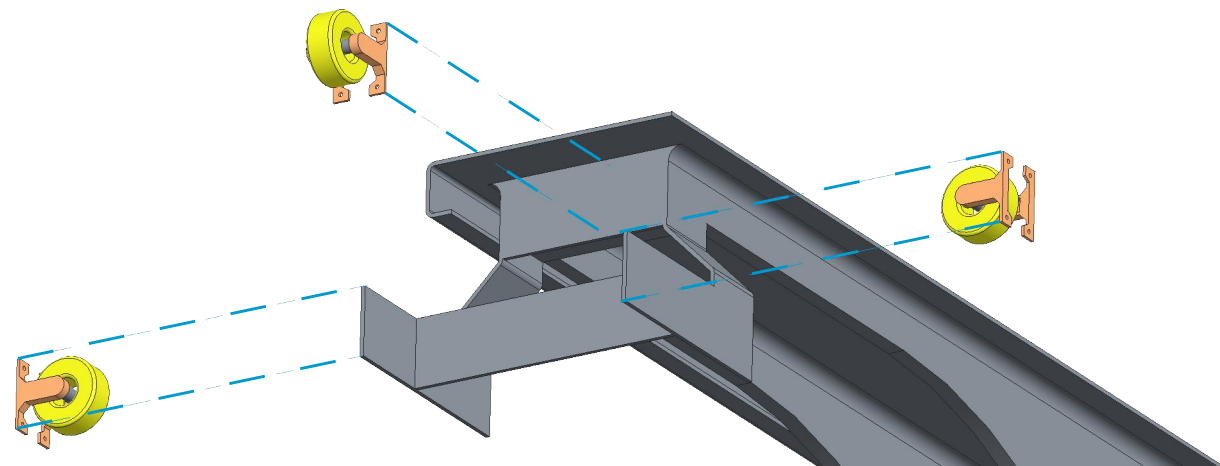
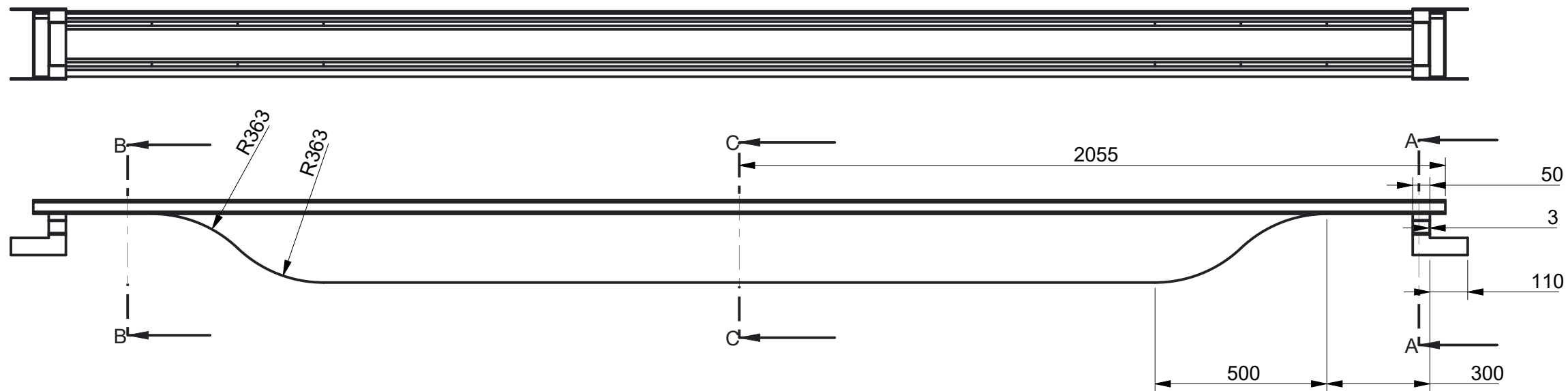
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:4

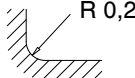
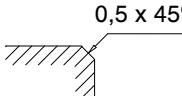


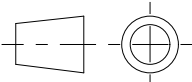


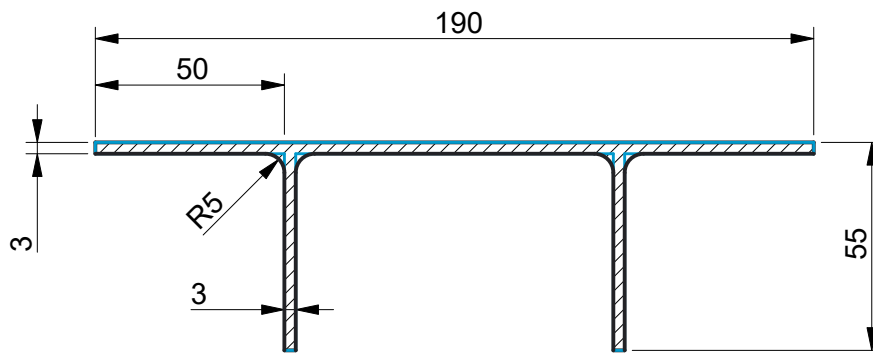
SECCIÓN B-B
ESCALA 1:4



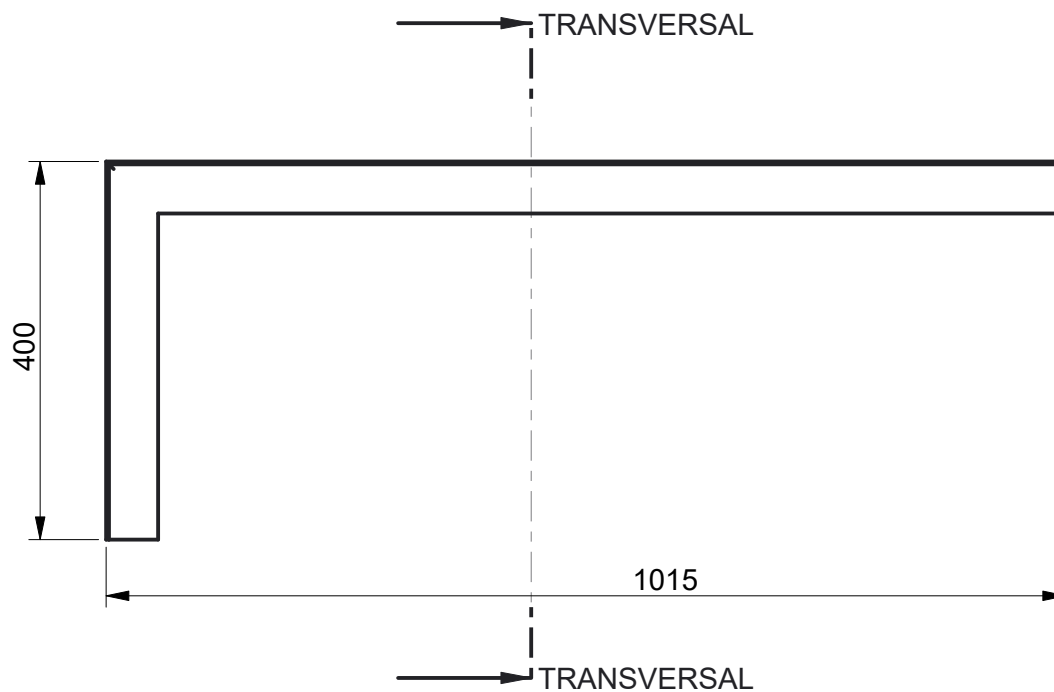
SECCIÓN C-C
ESCALA 1:4


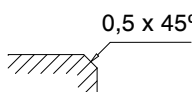


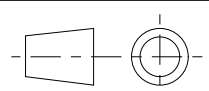


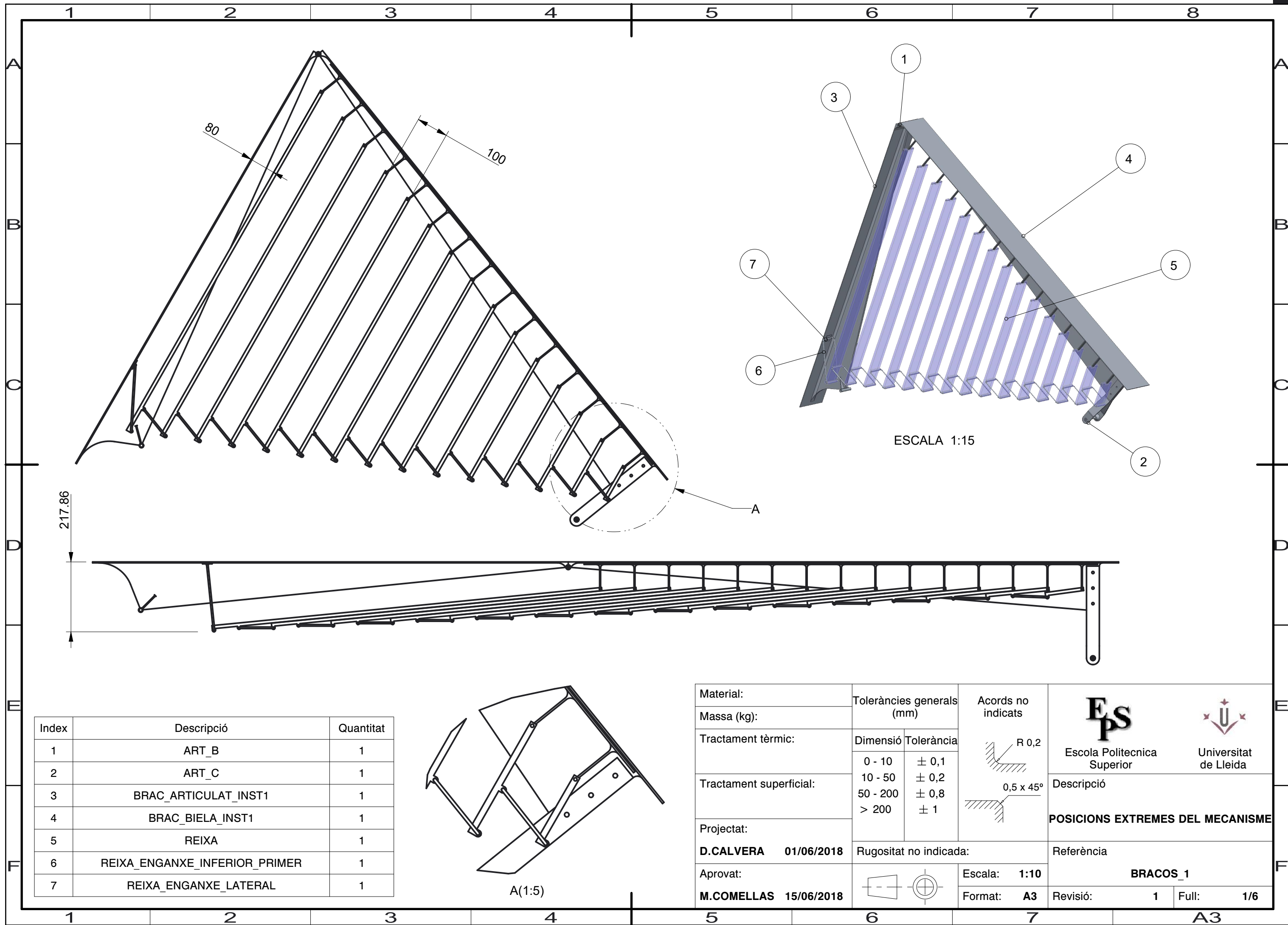
Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats  	 Escola Politecnica Superior		 Universitat de Lleida			
Massa (kg): 166.192	Dimensió	Tolerància		Descripció VISTES I EXPLOSIÓAT DEL GRAÓ-LLEVA	Referència LLEVA_GRAO_COS				
Tractament tèrmic:									
Tractament superficial:								0 - 10	± 0,1
								10 - 50	± 0,2
Projectat:	50 - 200	± 0,8							
	Rugositat no indicada:	> 200	± 1						
		Escala: 1:15							
D.CALVERA 01/06/2018			Format: A3		Revisió: 1	Full: 2/3			
Aprovat:									
M.COMELLAS 15/06/2018									

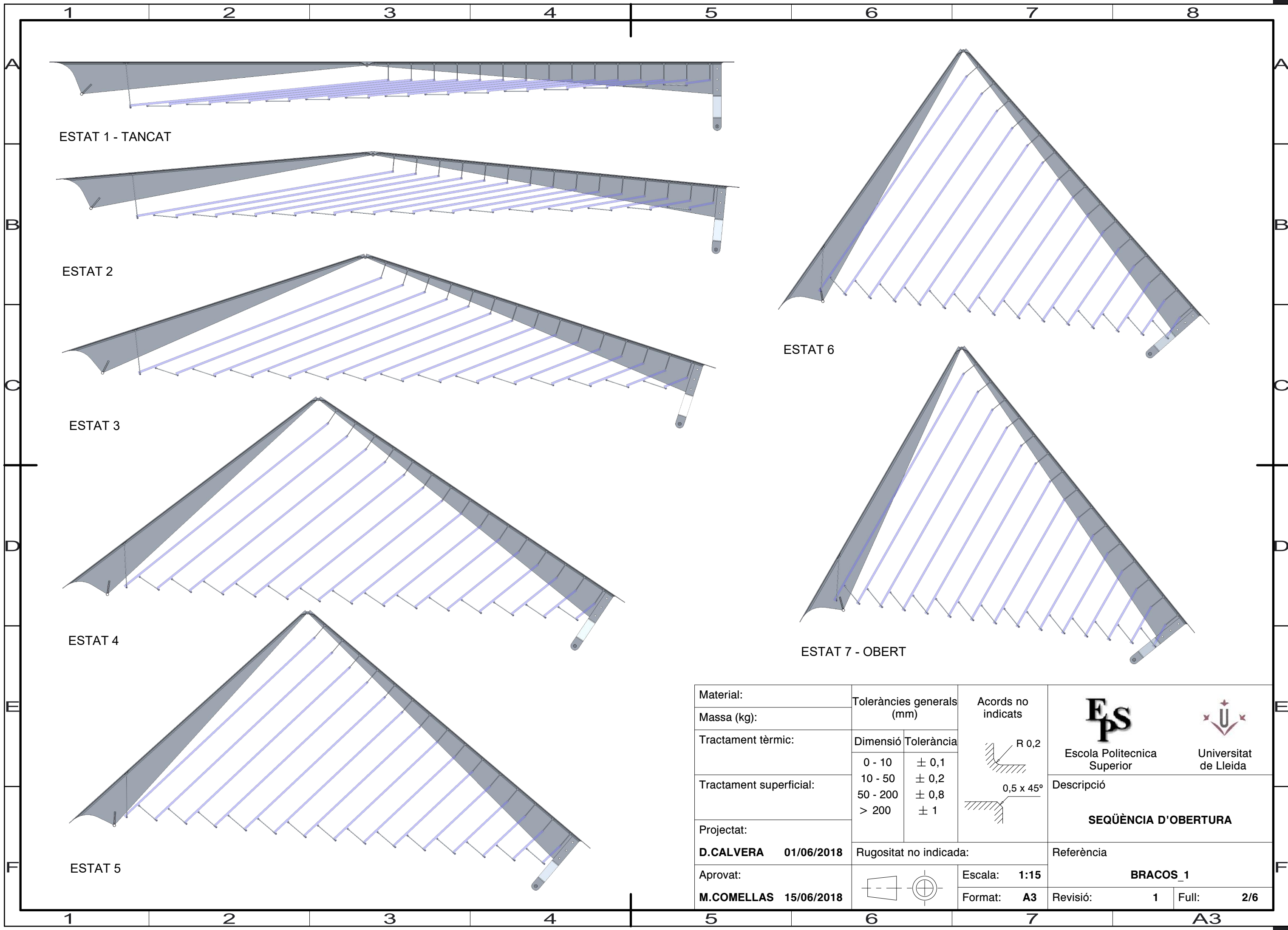


SECCIÓ TRANSVERSAL-TRANSVERSAL
ESCALA 1:2

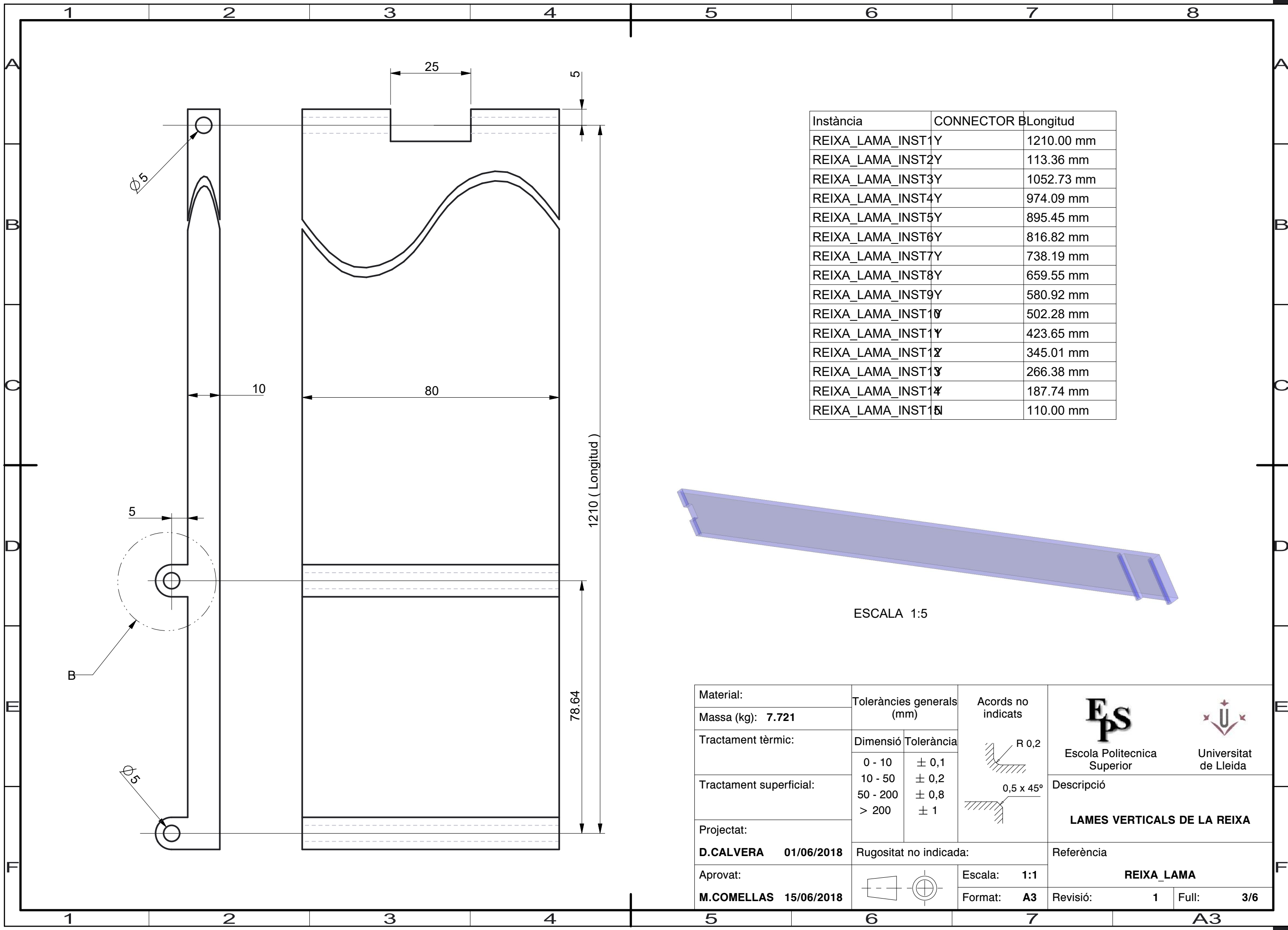


Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats  	 Escola Politecnica Superior		 Universitat de Lleida	
Massa (kg): 9.879							
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Descripció GUIA LATERAL DEL MECANISME			
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1					
	10 - 50	± 0,2					
	50 - 200	± 0,8					
	> 200	± 1					
Projectat:	Rugositat no indicada:			Referència LLEVA_GUIA_LATERAL			
D.CALVERA 01/06/2018							
Aprovat:			Escala: 1:8				
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A4				

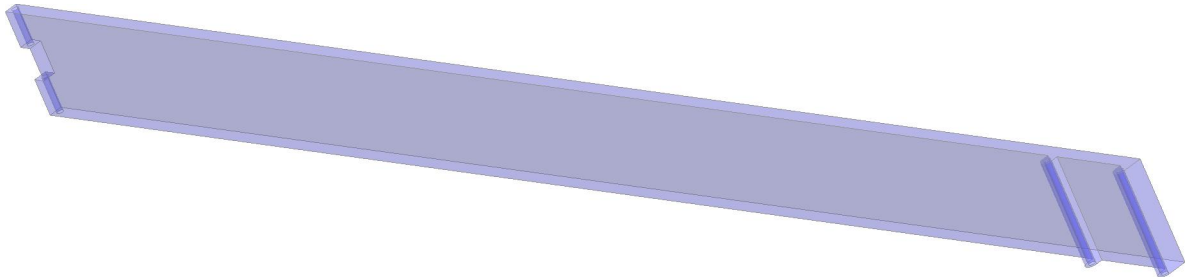




Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	<div></div>	
Massa (kg):					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		<div></div>	Descripció
Tractament superficial:	0 - 10 10 - 50 50 - 200 > 200	± 0,1 ± 0,2 ± 0,8 ± 1			
Projectat:	Rugositat no indicada:		Referència		
D.CALVERA 01/06/2018					
Aprovat:	<div></div>		Escala: 1:15	BRACOS_1	
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A3		

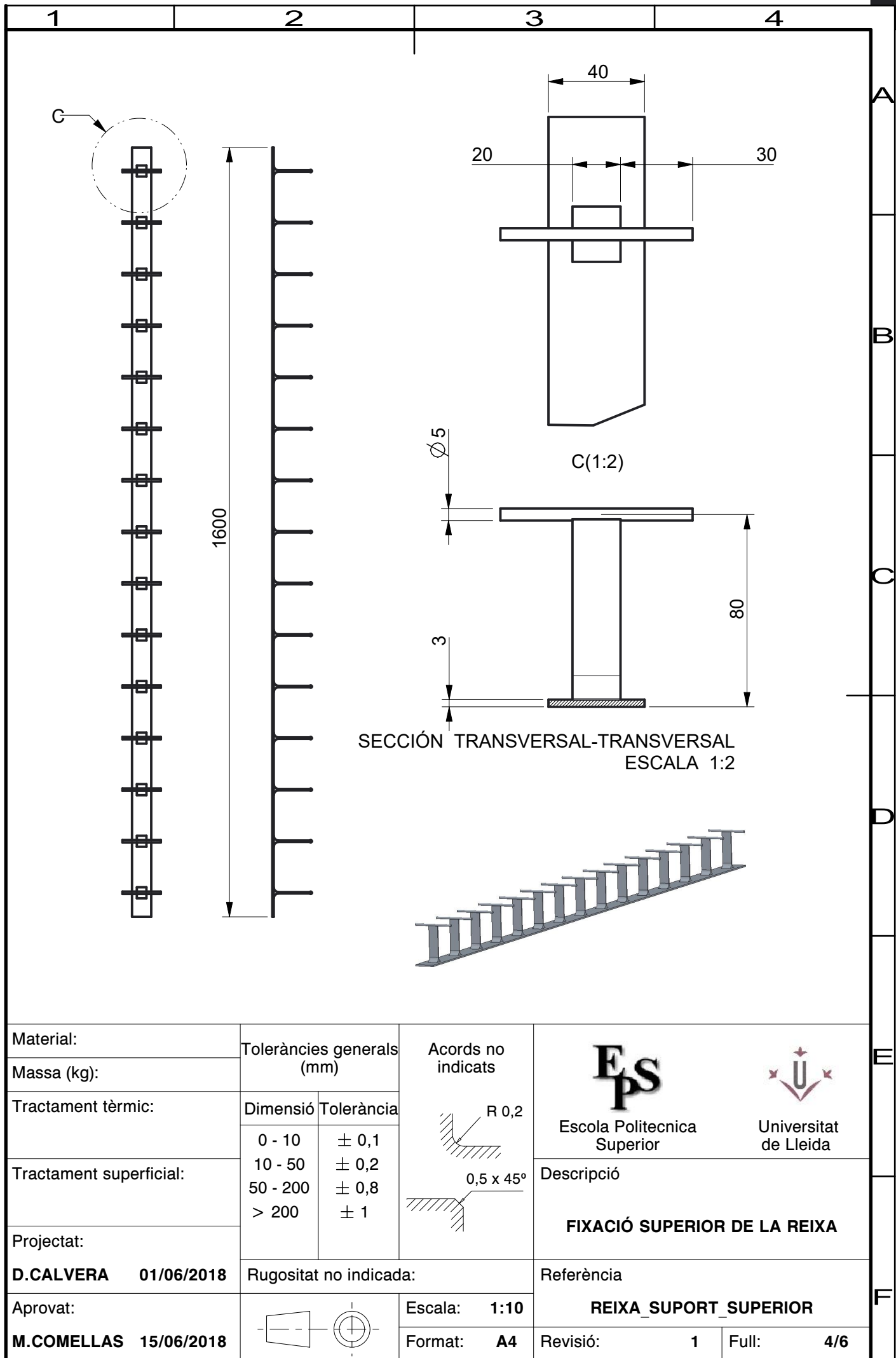


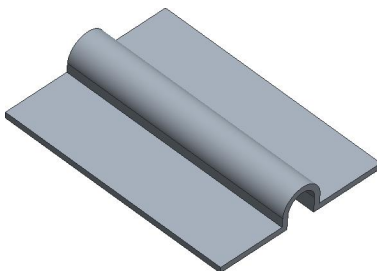
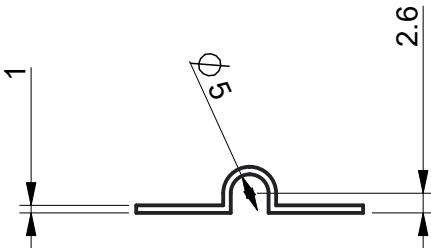
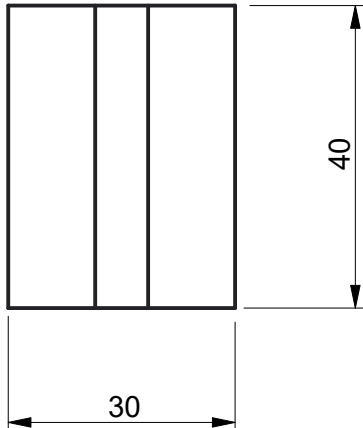


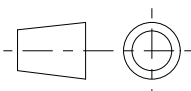
Instància	CONNECTOR B	Longitud
REIXA_LAMA_INST1Y		1210.00 mm
REIXA_LAMA_INST2Y		113.36 mm
REIXA_LAMA_INST3Y		1052.73 mm
REIXA_LAMA_INST4Y		974.09 mm
REIXA_LAMA_INST5Y		895.45 mm
REIXA_LAMA_INST6Y		816.82 mm
REIXA_LAMA_INST7Y		738.19 mm
REIXA_LAMA_INST8Y		659.55 mm
REIXA_LAMA_INST9Y		580.92 mm
REIXA_LAMA_INST10Y		502.28 mm
REIXA_LAMA_INST11Y		423.65 mm
REIXA_LAMA_INST12Y		345.01 mm
REIXA_LAMA_INST13Y		266.38 mm
REIXA_LAMA_INST14Y		187.74 mm
REIXA_LAMA_INST15Y		110.00 mm



ESCALA 1:5

Material:	Toleràncies generals (mm)		Acords no indicats	<div><div><div>EPS</div><div>Escola Politecnica Superior</div></div><div><div>Universitat de Lleida</div></div></div>	
Massa (kg): 7.721					
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		<div><div><div>R 0,2</div><div>0,5 x 45°</div></div></div>	Descripció
Tractament superficial:	0 - 10	± 0,1			
	10 - 50	± 0,2			
	50 - 200	± 0,8			
Projectat:	> 200	± 1	<div><div><div>Rugositat no indicada:</div><div><div><div></div><div></div></div></div></div></div>	Referència	
D.CALVERA 01/06/2018				REIXA_LAMA	
Aprovat:	<div><div><div></div><div></div></div></div>		Escala: 1:1	Revisió: 1 Full: 3/6	
M.COMELLAS 15/06/2018			Format: A3		



1	2	3	4		
<div></div>					
<div></div>					
<div></div>					
Material:		Toleràncies generals (mm)	Acords no indicats	 Escola Politecnica Superior	 Universitat de Lleida
Massa (kg): 0.012					
Tractament tèrmic:		Dimensió		Tolerància	Descripció FIXACIÓ LATERAL DE LA REIXA
Tractament superficial:		0 - 10	± 0,1		
		10 - 50	± 0,2		
		50 - 200	± 0,8		
		> 200	± 1		
Projectat:		Rugositat no indicada:		Referència REIXA_ENGANXE_LATERAL	
D.CALVERA 01/06/2018					
Aprovat:				Escala: 1:1	
M.COMELLAS 15/06/2018				Format: A4	
				Revisió: 1	Full: 5/6

6. CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el treball fi de grau arriba l'hora de valorar els resultats obtinguts. Tan a nivell del treball pròpiament dit com de l'experiència en si.

Respecte a l'experiència que m'ha proporcionat la **beca d'introducció a la recerca** (BIR), puc afirmar que ha estat molt gratificant per a mi. He pogut dedicar-me més intensament al projecte i estar en contacte amb altres investigadors, becaris i doctorants. He conegut la seva forma de treballar i he compartit instal·lacions amb ells. He pogut descobrir finalment a què es dediquen els professors a part de la docència. Recomanaria aquesta experiència a tot alumne que tingui ganes de fer un bon treball fi de grau de la temàtica que vulgui.

En quant al disseny final de la boca de metro, destaco les següents valoracions:

1. He pogut realitzar un **projecte de principi a fi**. Un projecte global en que la mateixa persona que decideix la funcionalitat de l'element acaba dissenyant i calculant cadascuna de les seves parts. M'ha semblat molt interessant perquè fins ara, al llarg de tota la meua vida estudiantil, només havia realitzat exercicis puntuals de cada part del procés de disseny. Aquesta visió general del projecte m'ha ajudat a no perdre la perspectiva i discernir millor els punts forts del disseny.
2. M'ha convençut la utilització de **programes de càlcul** tipus Matlab aplicat al dimensionament dels diferents elements del mecanisme. Al principi no tenia clar que pogués ser satisfactori ja que en cap assignatura d'estructures ni màquines s'havia emprat. De totes formes m'ha ajudat a clarificar les fórmules i els criteris de disseny i a optimitzar els resultats sense haver de recórrer al mètode de prova i error. S'aconsegueix un procés de càlcul paramètric en que tots els elements estan lligats entre si. Un canvi en un d'ells significa un reequilibrat automàtic de totes les variables aplicades en el disseny.
3. Després d'aquest projecte valoro molt més la importància dels **programes de CAD paramètric** durant els processos de disseny. Quan realitzes un exercici aïllat a classe no te n'adones de la potència que té la parametrització. El fet d'estar contínuament realitzant canvis en el disseny i veure com es va adaptant el model als nous valors sorprèn. Sobretot després d'haver utilitzat programes CAD sense parametrització durant tants anys.
4. Finalment he aconseguit modelar un mecanisme que genera tota una geometria mòbil a partir d'un simple moviment rotacional, tal i com defineixo a l'apartat "3. Intencions de disseny". Aquest requisit que em vaig auto-imposar, encurió per les possibilitats de les transmissions i els mecanismes, provablement m'ha dut a generar

un disseny més complex del que podria ser. Si enlloc de fixar l'existència d'un únic motor, haguessin pogut entrar en joc altres actuadors (mes d'un motor, pistons pneumàtics...) **els mecanismes s'haguessin pogut simplificar** una mica. Sobretot els secundaris. De totes formes no me'n penedeixo d'haver dut fins al final aquesta idea projectual. Ha estat un repte molt major.

5. Se m'han quedat algunes **coses pendents** que m'hagués agradat dur a terme. La primera és la comprovació dels principals elements estructurals amb programes CAE. El meu tutor me'n va mostrar alguns exemples però no em va donar temps d'aprofundir-hi. La segona és la realització d'una maqueta a escala que mostrés el sistema d'obertura del mecanisme. Tenia el disseny de la maqueta preparat però la seva complexitat em va fer desestimar la idea.

Finalment m'agradaria tornar a donar les gràcies al meu tutor, Martí Comellas, pel seu suport durant tots aquests mesos i a la Universitat de Lleida, per fer-me valedor d'una de les seves beques d'investigació.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom.

Lleida, 6 de juliol de 2018

7. BIBLIOGRAFIA

BONET, Jordi. *L'últim/The essensial Gaudí*. Ed. Pòrtic.

CENTRO DE ESTUDIOS GAUDINISTAS. *Jornadas internacionales de estudios*. Ed. Blume.

CRIPPA, Maria Antonietta. *Gaudí*. Ed. Taschen.

JODIDIO, Philip. *Santiago Calatrava*. Ed. Taschen.

MARTÍN, Esteban i CARRANZA, Andreu. *La clau Gaudí*. Ed. Rosa dels Vents.

APUNTS ASSIGNATURES DEL GRAU:

“Expressió Gràfica II” – Grau en Eng. Mecànica – UdL - 2017. Prof. Martí Comellas.

“Càlcul i disseny de màquines” – Grau en Eng. Mecànica – UdL - 2017. Prof. Joan Roca.

“Enginyeria de fluids” – Grau en Eng. Mecànica – UdL - 2016. Prof. Josep Illa.

“Mètodes numèrics” – Grau en Eng. Mecànica – UdL - 2015. Prof. Isaac Garcia.

8. ANNEXOS

8.1 CODIS DE PROGRAMACIÓ OCTAVE/MATLAB

A continuació mostrem els codis de programació Octave/Matlab que s'han utilitzat en el càlcul i optimització dels diferents elements estructurals del disseny, de la mateixa manera que els utilitzats en la definició prèvia de la geometria global.

L'esquema relacional entre les següents funcions informàtiques es pot consultar al capítol "6. CÀLCULS" d'aquest mateix treball d'investigació.

8.1.1 FUNCIÓ "PARAMETRES.M"

```
1  function
2  [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres
3  % PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %
4
5  long_tot=8740; %[mm] (38 amples) Longitud "x" de la intervenció
6  ext1=3000; %[mm] Distància "y" (veure esquema)
7  ext2=1200; %[mm] Distància "y" (veure esquema)
8
9  R=[-4870,1650;-4370,1700;-500,2700;2500,1700;4370,1700;4870,1750];
10 %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)
11 S=[-4870,-1750;-4370,-1700;-2500,-1700;500,-2700;4370,-
12 1700;4870,-1650];
13 %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)
14
15 Az=150; %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)
16 Cz=300; %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)
17 Cy=100; %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
18 d=Az; %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
19
20 % PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %
21
22 ample=230; %[mm] Ample dels braços
23 rec=1600; %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
24
25
26 % PLOT DE GRAFIQUES %
27
28 graf=[0,0,0,0,0,0,0,3];
29
30 % Si graf(1)==1, treura la grafica 2D
31 % Si graf(1)==0, NO treura la grafica 2D
32 % Si graf(2)==1, treura la grafica 3D superfícies
33 % Si graf(2)==0, NO treura la grafica 3D superfícies
34 % Si graf(3)==1, treura l'histograma d'optimització braços
```

```

35 % Si graf(3)==0, NO treura l'histograma d'optimització braços
36 % Si graf(4)==0, NO treura la grafica 2D de forces a les
articulacions dels braços
37 % Si graf(4)==1, Treura REQUERIMENTS A de forces a les
articulacions dels braços
38 % Si graf(4)==2, Treura REQUERIMENTS B de forces a les
articulacions dels braços
39 % Si graf(5)==0, NO Treura res
40 % Si graf(5)==1, Treura moments flectors sobre corredera
41 % Si graf(5)==2, Treura moments torsors sobre corredera
42 % Si graf(5)==3, Treurà tensions màximes en cada secció i
sel·lecció
43 % Si graf(5)==4, Treurà fletxa màxima en cada secció tipus de
tub i sel·lecció
44 % Si graf(6)==0, NO Treura res
45 % Si graf(6)==1, Treura mesh optimització bulo orelles
46 % Si graf(7)==0, NO Treura res
47 % Si graf(7)==1, Treura plot optimització seccions de l'arbre de
transmissió.
48 % Si graf(8)==0, NO Treura res
49 % Si graf(8)==1, Treura mesh de les tensions en funció dels
lespessors.
50 % Si graf(8)==2, Treura mesh de la fletxa en funció dels
lespessors.
51 % Si graf(8)==3, treura l'histograma d'optimització de la biga
52
53 endfunction

```

8.1.2 FUNCIO "CORBES.M"

```

1 function [arc,COEF_R,COEF_S]=corbes
2
3 % PARÀMETRES %
4
5 [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
6 % Crida dels paràmetres definidors
7
8 rep_in=-5000; %[mm] Límit esquerra de les gràfiques
9 rep_fin=5000; %[mm] Límit dret de les gràfiques
10
11 R_2=R/1000; %[m] Punts corba R en metres (per al càlcul)
12 S_2=S/1000; %[m] Punts corba S en metres (per al càlcul)
13
14
15 % CÀLCUL ARCS DE CIRCUMFERÈNCIA PERIMETRAL %
16
17 arc(2)=0;
18 T(2)=ext1+ext2/2;
19 T(1)=long_tot/4;
20 tg_xi=long_tot/2/ext2;
21
22 n_eq=T(2)-tg_xi*T(1);
23 arc(3)=n_eq;
24 arc(1)=ext1+ext2-arc(3);
25
26 % CÀLCUL POLINOMIS INTERPOLADORS %
27

```

```

28 n=length(R_2(:,1))-1;
29 MAT_R=zeros(n+1);
30 for i=1:1:n+1
31 column=R_2(:,1).^(i-1);
32 MAT_R(:,i)=column;
33 endfor
34 T_IND_R=R_2(:,2);
35 COEF_R=MAT_R\T_IND_R;
36
37 m=length(S_2(:,1))-1;
38 MAT_S=zeros(m+1);
39 for i=1:1:m+1
40 column=S_2(:,1).^(i-1);
41 MAT_S(:,i)=column;
42 endfor
43 T_IND_S=S_2(:,2);
44 COEF_S=MAT_S\T_IND_S;
45
46 if(graf(1)==1)
47
48 % CÀLCUL I SORTIDA DE GRÀFICA 2D %
49
50 x=rep_in:100:rep_fin;
51 nn=length(x);
52 for i=1:1:nn
53 % Arc de circumferència superior
54 y1(i)=sqrt(arc(1)^2-(x(i)-arc(2))^2)+arc(3);
55 % Arc de circumferència inferior
56 y2(i)=-(sqrt(arc(1)^2-(x(i)-arc(2))^2)+arc(3));
57 % Polinomi interpolador superior (càlcul en metres)
58 y3(i)=0;
59 for j=1:1:n+1
60 y3(i)=y3(i)+COEF_R(j)*(x(i)/1000).^(j-1);
61 endfor
62 % Polinomi interpolador inferior (càlcul en metres)
63 y4(i)=0;
64 for k=1:1:m+1
65 y4(i)=y4(i)+COEF_S(k)*(x(i)/1000).^(k-1);
66 endfor
67 endfor
68
69 y3=y3*1000; %[mm] Conversió punts corba R en milimitres
70 y4=y4*1000; %[mm] Conversió punts corba S en milimitres
71
72
73 P_arc_sup=[-long_tot/2,ext1;0,ext1+ext2;long_tot/2,ext1];
74 P_arc_inf=[-long_tot/2,-ext1;0,-(ext1+ext2);long_tot/2,-ext1];
75
76 plot(x,y1,'c',x,y2,'r',x,y3,'g',x,y4,'b',...
77 R(:,1),R(:,2),'gd',S(:,1),S(:,2),'bd',...
78
79 P_arc_sup(:,1),P_arc_sup(:,2),'cd',P_arc_inf(:,1),P_arc_inf(:,2),'rd')
80 title('CORBES DELIMITADORES DE LES ARTICULACIONS')
81 xlabel('eix absisses "X" [mm]')
82 ylabel('eix coordenades "Y" [mm]')
83 axis([-6000,6000,-6000,6000])
84
85 endif
86
87 endfunction

```

8.1.3 FUNCIO "SUPERFICES.M"

```
1  function [PUNTS_positiu,PUNTS_negatiu]=superficies
2
3  % INPUTS %
4
5  [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
6  % Crida dels paràmetres definidors
7  [arc,COEF_R,COEF_S]=corbes;
8  % Crida dels coeficients de les corbes
9
10
11
12 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
13 % DEFINICIÓ VARIABLES PRINCIPALS %
14 xxx=long_tot/2-ample/2; % Posicionament 1r i ultim braç
15 x=-xxx:ample:xxx; % Posicionament x dels braços
16 n=length(x); % Número de braços de lestructura
17
18 PUNTS_positiu=zeros(n,3,6);
19 PUNTS_negatiu=zeros(n,3,6);
20 A=zeros(n,3);
21 B=zeros(n,3);
22 C=zeros(n,3);
23 D=zeros(n,3);
24 O=zeros(n,3);
25 B_repos=zeros(n,3);
26
27
28
29 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30 % CÀLCUL PARÀMETRES COMUNS SEGONS POS/NEG %
31
32 % PUNTS A - Arc de circumferència perimetral %
33 A(:,1)=x';
34 A(:,3)=-Az;
35 for i=1:1:n
36 A(i,2)=sqrt(arc(1)^2-(x(i)-arc(2))^2)+arc(3);
37 endfor
38
39 % PUNTS C - Corredera %
40 C(:,1)=x';
41 C(:,2)=Cy+rec;
42 C(:,3)=-Cz;
43
44 % PUNTS B_repos - articulació mobil amb l'estructura tancada%
45 B_repos(:,1)=x';
46 B_repos(:,3)=0;
47
48
49
50 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
51 % CÀLCUL PARÀMETRES VARIABLES SEGONS POS/NEG %
```

```

52  for ii=1:1:2
53
54
55
56
57
58  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
59  % CÀLCUL PARÀMETRES POSITIUS %
60  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
61  if(ii==1)
62
63
64  % PUNTS B de la corba R -EN ESTAT DE REPÒS- %
65  nn=length(COEF_R); % grau del polinomi+1
66  By=zeros(n,1);
67  for i=1:1:n
68  for j=1:1:nn
69  By(i)=By(i)+COEF_R(j)*(x(i)/1000).^ (j-1);
70  endfor
71  endfor
72  B_repos(:,2)=By*1000; %[mm] Conversió punts corba R en milimitres
73
74  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
75  % CÀLCUL PARÀMETRES NEGATIUS %
76  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
77  elseif(ii==2)
78
79  % PUNTS B de la corba R -EN ESTAT DE REPÒS- %
80  nn=length(COEF_S); % grau del polinomi+1
81  By=zeros(n,1);
82  for i=1:1:n
83  for j=1:1:nn
84  By(i)=By(i)+COEF_S(j)*(x(i)/1000).^ (j-1);
85  endfor
86  endfor
87  B_repos(:,2)=By*1000*(-1); %[mm] Conversió punts corba R en
milimitres
88  % i traspas a valors positius
89  endif
90
91
92
93  for i=1:1:n
94
95  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
96  % TRIGONOMETRIA GENERAL %
97  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
98
99  AB=sqrt((A(i,2)-B_repos(i,2))^2+Az^2);
100  BC=sqrt((B_repos(i,2)-Cy)^2+Cz^2);
101  AC=sqrt(Cz^2+(A(i,2)-(rec+Cy))^2);
102  gamma(i,ii)=atan(Az/(A(i,2)-B_repos(i,2)));
103  delta(i,ii)=atan(Cz/(B_repos(i,2)-Cy));
104  teta(i,ii)=atan(Cz/(A(i,2)-(rec+Cy)));
105  omega(i,ii)=acos((AB^2-AC^2-BC^2)/(-2*AC*BC));
106  beta(i,ii)=omega(i,ii)-delta(i,ii)+teta(i,ii);
107  eta(i,ii)=acos((BC^2-AB^2-AC^2)/(-2*AB*AC));
108  alfa(i,ii)=eta(i,ii)-gamma(i,ii)-teta(i,ii);
109
110
111  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

112 % CÀLCUL PUNT B %
113 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
114
115 projyAB=cos (gamma (i,ii)+alfa (i,ii)) *AB;
116 projzAB=sin (gamma (i,ii)+alfa (i,ii)) *AB;
117 B (i,1)=x (i);
118 B (i,2)=A (i,2)-projyAB;
119 B (i,3)=projzAB-Az;
120
121
122 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
123 % CÀLCUL PUNT D %
124 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
125
126 AD=sqrt (d^2+Az^2);
127 psi=atan (d/Az);
128 projyAD=sin (psi+alfa (i,ii)) *AD;
129 projzAD=cos (psi+alfa (i,ii)) *AD;
130 D (i,1)=x (i);
131 D (i,2)=A (i,2)+projyAD;
132 D (i,3)=-Az+projzAD;
133
134
135 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
136 % CÀLCUL PUNT O %
137 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
138
139 CO=sqrt (Cy^2+Cz^2);
140 rho=atan (Cy/Cz);
141 projyCO=sin (rho+beta (i,ii)) *CO;
142 projzCO=cos (rho+beta (i,ii)) *CO;
143 O (i,1)=x (i);
144 O (i,2)=Cy+rec-projyCO;
145 O (i,3)=-Cz+projzCO;
146
147 endfor
148
149
150 % AGRUPACIÓ DELS PUNTS EN Matrius TRIDIMENSIONALS %
151
152 if(ii==1)
153 PUNTS_positius(:, :, 1)=A;
154 PUNTS_positius(:, :, 2)=B;
155 PUNTS_positius(:, :, 3)=C;
156 PUNTS_positius(:, :, 4)=D;
157 PUNTS_positius(:, :, 5)=O;
158 PUNTS_positius(:, :, 6)=B_repos;
159 elseif(ii==2)
160 PUNTS_negatius(:, :, 1)=A;
161 PUNTS_negatius(:, :, 2)=B;
162 PUNTS_negatius(:, :, 3)=C;
163 PUNTS_negatius(:, :, 4)=D;
164 PUNTS_negatius(:, :, 5)=O;
165 PUNTS_negatius(:, :, 6)=B_repos;
166
167 PUNTS_negatius(:, 2, :)=PUNTS_negatius(:, 2, :)*(-1);
168 endif
169
170 endfor
171
172

```



```

173     if(graf(2)==1)
174
175         % SORTIDA PER PANTALLA DE GRÀFIQUES 3D %
176
177         SURF_positius=zeros(n,3,3);
178         SURF_negatius=zeros(n,3,3);
179
180         for i=1:1:3
181
182             SURF_positius(:,1,i)=PUNTS_positius(:,i,5); % Punts O reordenats
183             SURF_positius(:,2,i)=PUNTS_positius(:,i,2); % Punts B reordenats
184             SURF_positius(:,3,i)=PUNTS_positius(:,i,4); % Punts D reordenats
185
186             SURF_negatius(:,1,i)=PUNTS_negatius(:,i,5); % Punts O reordenats
187             SURF_negatius(:,2,i)=PUNTS_negatius(:,i,2); % Punts B reordenats
188             SURF_negatius(:,3,i)=PUNTS_negatius(:,i,4); % Punts D reordenats
189
190         endfor
191
192
193
194         surface(SURF_positius(:,:,1),SURF_positius(:,:,2),SURF_positius(:,:,3)
195         )
196         hold on
197         surface(SURF_negatius(:,:,1),SURF_negatius(:,:,2),SURF_negatius(:,:,3)
198         )
199
200         title('PLEGABILITAT DIFERENCIAL')
201         xlabel('dimensio X')
202         ylabel('dimensio Y')
203         zlabel('dimensio Z')
204         axis([-9000,9000,-4500,4500,-1000,3500])
205         view([1000,-200,500])
206
207     endif
208
209
210 endfunction

```

8.1.4 FUNCIO "PARAMETRES_OPT.M"

```

1  function
2  [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
3  apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
4  vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
5  exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
6  h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(element)
7
8  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
9  %%  PARÀMETRES FÍSICS  %%
10 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
11

```

```

12 g = 9.81; %[N/kg] Acceleració de la gravetat
13 Q_us = 300; %[kg/m2] Sobrecàrrega d'ús
14 Q_us = Q_us*g/10^6; %[N/mm2] Sobrecàrrega d'ús canvi unitats
15 C_s = 2; %[-] Coeficient de seguretat dels materials
16
17 if(element==1)
18 % Material dels braços %
19
20 tens_max = 273; %[N/mm2] Tensió resistent màxima del material
21 dens = 7850/10^9; %[kg/mm3] Densitat del material
22 fletxa = 300; %[-] Parcial acceptable referente a la long total
23 E = 210000; %[MPa]=[N/mm2] Modul d'elasticitat
24
25 elseif(element==2)
26 % Material dels bulons %
27
28 tens_max = 273; %[N/mm2] Tensió resistent màxima del material
29 dens = 7850/10^9; %[kg/mm3] Densitat del material
30 fletxa = 250; %[-] Parcial acceptable referente a la long total
31 E = 210000; %[MPa]=[N/mm2] Modul d'elasticitat
32
33 elseif(element==3)
34 % Material de la corredera %
35
36 tens_max = 275; %[N/mm2] Tensió resistent màxima del material
37 dens = 7850/10^9; %[kg/mm3] Densitat del material
38 fletxa = 250; %[-] Parcial acceptable referente a la long total
39 E = 210000; %[MPa]=[N/mm2] Modul d'elasticitat
40
41 elseif(element==4)
42 % Material de l'arbre de transmissió %
43
44 tens_max = 273; %[N/mm2] Tensió resistent màxima del material
45 dens = 7850/10^9; %[kg/mm3] Densitat del material
46 fletxa = 250; %[-] Parcial acceptable referente a la long total
47 E = 210000; %[MPa]=[N/mm2] Modul d'elasticitat
48
49 elseif(element==5)
50 % Material de les bigues %
51
52 tens_max = 273; %[N/mm2] Tensió resistent màxima del material
53 dens = 7850/10^9; %[kg/mm3] Densitat del material
54 fletxa = 400; %[-] Parcial acceptable referente a la long total
55 E = 210000; %[MPa]=[N/mm2] Modul d'elasticitat
56
57 endif
58
59 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
60 %% PARÀMETRES GEOMÈTRICS %%
61 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
62
63 % RELATIUS A L'OPTIMITZACIÓ DELS BRAÇOS %
64 ala_lliure = 300; %[mm] Distància del braç sense ànima
65 escletxa = 40; %[mm] Distància entre braços
66 e_xapes = [0.5,0.6,0.8,1,1.5,2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,25,30];
67 %[mm] tots els espesor de les xapes d'acer inox
68 %del catàleg "metalco"
69
70 % RELATIUS A L'OPTIMITZACIÓ DELS BULONS %
71 amp_orelles = 40; %[mm] Amplada orelles laterals
72

```

```

73 % RELATIUS A L'OPTIMITZACIÓ DE LA CORREDERA %
74 apoyo_mig = 1150; %[mm] Distància "x" des del centre finals a les
75 % bigues intermitges
76 apoyo_final = 4830; %[mm] Distància "x" des del centre finals a
les
77 % bigues finals
78
79 [arc, COEF_R, COEF_S]=corbes; % Crida dels coeficients de les
corbes
80
81 Ay_apoyo_mig = sqrt(arc(1)^2-((apoyo_mig)-arc(2))^2)+arc(3);
82 Ay_apoyo_final = sqrt(arc(1)^2-((apoyo_final)-arc(2))^2)+arc(3);
83
84 long_mig = 2*(Ay_apoyo_mig+200)
85 long_final = 2*(Ay_apoyo_final+200)
86
87 vol_cadena = 230; %[mm] distància de biga a enganxe de cadena
88 r_cadena = 100; %[mm] radi d'enganxe de la cadena
89
90 exentric_C = 30; %[mm] distància de art_C a superfície corredera
91 e_tubs = 10; %[mm] espessor tubs rec. (possibles, 8,10,12,12.5)
92 tubs_rec =[160,80;
93 180,80;
94 180,100;
95 180,120;
96 200,100;
97 200,120;
98 200,150;
99 200,160;
100 250,100;
101 250,150;
102 250,200;
103 300,100;
104 300,150;
105 300,200;
106 300,220];
107 %[mm] dimensions de les tipologies de tubs
108 % rectangulars del cataleg "metalco"
109 m_lineal =[ 38.48; ...
110 42.54; ...
111 46.80; ...
112 50.96; ...
113 50.96; ...
114 54.81; ...
115 61.05; ...
116 62.92; ...
117 61.05; ...
118 71.03; ...
119 81.22; ...
120 71.03; ...
121 81.22; ...
122 91.52; ...
123 95.58 ];
124 %[kg/m] massa lineal dels tubs rectangulars
125
126 m_lineal = m_lineal/1000; %[kg/mm] massa lineal dels tubs
rectangulars
127
128 % RELATIUS A L'OPTIMITZACIÓ DE L'ARBRE DE TRASMISSIO %
129
130 dist_motor = 500; %[mm] Distància del motor a la biga/rodament

```

```

131
132 % RELATIUS A L'OPTIMITZACIÓ DE LES BIGUES %
133
134 dist_arbre = 2300; %[mm] Distancia arbre de transmissio
135 marge_corr = 5; %[mm] MArge per sota i per sobre de la corredera
136 % al creuar amb les bigues transversals
137 h_biga = 350; %[mm] Alçada de les bigues
138 b_biga = 150; %[mm] Amplada de les bigues
139
140 endfunction

```

8.1.5 FUNCIO "OPT_BRACOS.M"

```

1 function [REQ_A,REQ_B]=calcul_bracos
2
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 %% CRIDA DE DADES %%%%%%%%%
5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7 [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
8
9 [PUNTS_positiu,PUNTS_negatiu]=superficies;
10 Ay=PUNTS_positiu(:,2,1);
11 By=PUNTS_positiu(:,2,6);
12
13 [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
14 apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
15 vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
16 exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
17 h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(1);
18
19 [opt_pes,e_ala,e_anima,e_plet,ample_plet]=opt_bracos;
20
21
22
23
24 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
25 %%%%%%%%%
26 %% CÀLCUL EN BUCLE DE LES FORCES SOBRE LES ARTICULACIONS DELS
27 BRAÇOS %%%%%%%%%
28
29 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30 %%%%%%%%%
31
32 n=length(Ay);
33
34 REQ_A=zeros(2,n,3);
35 REQ_B=zeros(2,n,3);
36
37 for ii=1:1:2
38
39 % ii==1 Càlcul de les forces del REQUERIMENT A (PP+Q_us)
40 % ii==2 Càlcul de les forces del REQUERIMENT B (PP)
41
42 if(ii==1)
43 F_uniforme = Q_us*ample;

```

```

39  %[N/mml] Força uniformement repartida degut a la sobrecarrega
d'ús
40  elseif(ii==2)
41  F_uniforme = 0;
42  %[N/mml] Força uniformement repartida degut a la sobrecarrega
d'ús
43  endif
44
45
46  for i=1:1:n
47
48  % Calcul de les masses de cada part dels braços %
49
50  m_voladaART=e_ala*d*(ample-escletxa)*dens;
51  m_animaART=e_anima*((Ay(i)-By(i))-ala_lliure)*Az/2*dens;
52  m_alaART=e_ala*(Ay(i)-By(i))*(ample-escletxa)*dens;
53
54  m_voladaBIE=e_ala*Cy*(ample-escletxa)*dens;
55  m_animaBIE=e_anima*((By(i)-Cy)-ala_lliure)*Az/2*dens;
56  m_alaBIE=e_ala*(By(i)-Cy)*(ample-escletxa)*dens;
57  m_pletBIE=2*e_plet*ample_plet*Cz*dens;
58
59  % Montatge i resolució del sistema per trobar reaccions en B %
60  MAT=[Az, (Ay(i)-By(i));Cz,-(By(i)-Cy)];
61  T_IND(1,1)= -m_voladaART*g*d/2+m_animaART*g*(Ay(i)-By(i)-
ala_lliure)/3 ...;
62  +m_alaART*g*(Ay(i)-By(i))/2-F_uniforme*d*d/2 ...
63  +F_uniforme*(Ay(i)-By(i))*(Ay(i)-By(i))/2;
64  T_IND(2,1)=-m_voladaBIE*g*Cy/2+m_alaBIE*g*(By(i)-Cy)/2 ...
65  +m_animaBIE*g*(By(i)-Cy-ala_lliure)/3 ...
66  +F_uniforme*(By(i)-Cy)*(By(i)-Cy)/2-F_uniforme*Cy*Cy/2;
67  x=MAT\T_IND;
68  FBy(i)=x(1);
69  FBz(i)=x(2);
70
71  % Reaccions en articulació A %
72  FAy(i)=FBy(i);
73  FAz(i)=-FBz(i)+F_uniforme*(d+Ay(i)-By(i)) ...
74  +m_animaART*g+m_voladaART*g+m_alaART*g;
75
76  % Reaccions en articulació C %
77  FCy(i)=FBy(i);
78  FCz(i)=FBz(i)+m_alaBIE*g+m_animaBIE*g+m_voladaBIE*g+m_pletBIE*g
...
79  +F_uniforme*(By(i));
80
81
82  endfor
83
84  if(ii==1)
85  REQ_A(1,:,1)=FAy;
86  REQ_A(2,:,1)=FAz;
87  REQ_A(1,:,2)=FBy;
88  REQ_A(2,:,2)=FBz;
89  REQ_A(1,:,3)=FCy;
90  REQ_A(2,:,3)=FCz;
91
92  elseif(ii==2)
93  REQ_B(1,:,1)=FAy;
94  REQ_B(2,:,1)=FAz;
95  REQ_B(1,:,2)=FBy;

```

```

96 REQ_B(2, :, 2) = FBz;
97 REQ_B(1, :, 3) = FCy;
98 REQ_B(2, :, 3) = FCz;
99
100 endif
101
102 endfor
103
104
105
106 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
107 %% GRÀFICA OPTIMITZACIÓ ESPESSORS %%%%%%%%%
108 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
109
110 % SORTIDA PER PANTALLA DE LA GRAFICA REQUERIMENT A (PP+Q_us) %
111
112 if(graf(4)==1)
113
114 MATGRAF=[REQ_A(1, :, 1);REQ_A(2, :, 1);REQ_A(2, :, 2);REQ_A(2, :, 3)];
115 MATGRAF=MATGRAF';
116
117 bar(MATGRAF)
118 title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS -
REQUERIMENT A')
119 xlabel('Dimensio X - NUMERO DE BRAÇ')
120 ylabel('FORÇA [N]')
121 legend('Forces F Ay, F By i F Cy','Força F Az','Força F Bz','Força
FCz')
122 axis([0,n+1,-500,8000])
123
124 % alternativa plot %
125
126 %x_graf=PUNTS_positius(:,1,1);
127
128 %plot(x_graf,REQ_A(1, :, 1),'r',x_graf,REQ_A(1, :, 2),'r',x_graf,REQ_A(1, :
, 3),'r', ...
129
130 %x_graf,REQ_A(2, :, 1),'b',x_graf,REQ_A(2, :, 2),'g',x_graf,REQ_A(2, :, 3))
131
132 % title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS
- REQUERIMENT A')
133 % xlabel('Dimensio X - Posicio dels braços [mm]')
134 % ylabel('FORÇA [N]')
135 % legend('Força F Ay, F By i F Cy','Força F Az','Força F Bz','Força
FCz')
136
137
138 % SORTIDA PER PANTALLA DE LA GRAFICA REQUERIMENT A (PP+Q_us) %
139
140 elseif(graf(4)==2)
141
142 MATGRAF=[REQ_B(1, :, 1);REQ_B(2, :, 1);REQ_B(2, :, 2);REQ_B(2, :, 3)];
143 MATGRAF=MATGRAF';
144
145 bar(MATGRAF)
146 title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS -
REQUERIMENT B')
147 xlabel('Dimensio X - NUMERO DE BRAÇ')
148 ylabel('FORÇA [N]')
149 legend('Forces F Ay, F By i F Cy','Força F Az','Força F Bz','Força
FCz')

```



```

148 axis([0,n+1,-100,800])
149
150
151 % alternativa plot %
152
153 %x_graf=PUNTS_positius(:,1,1);
154
155 plot(x_graf,REQ_B(1,:,1),'r',x_graf,REQ_B(1,:,2),'r',x_graf,REQ_B(1,:,3),'r', ...
156
157 %x_graf,REQ_B(2,:,1),'b',x_graf,REQ_B(2,:,2),'g',x_graf,REQ_B(2,:,3))
158
159 % title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS
- REQUERIMENT B')
160 % xlabel('Dimensio X - Posicio dels braços [mm]')
161 % ylabel('FORÇA [N]')
162 % legend('Força FAy', 'Força FBy', 'Força FCy', 'Força FAz', 'Força FBz', 'Força FCz')
163
164 endif
165 endfunction

```

8.1.6 FUNCIO "CALCUL_BRACOS.M"

```

1 function [REQ_A,REQ_B]=calcul_bracos
2
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 %% CRIDA DE DADES %%%%%%%%%%
5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7 [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
8
9 [PUNTS_positius,PUNTS_negatius]=superficies;
10 Ay=PUNTS_positius(:,2,1);
11 By=PUNTS_positius(:,2,6);
12
13 [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
14 apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
15 vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
16 exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
17 h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(1);
18
19 [opt_pes,e_ala,e_anima,e_plet,ample_plet]=opt_bracos;
20
21
22
23
24 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
25 %% CÀLCUL EN BUCLE DE LES FORCES SOBRE LES ARTICULACIONS DELS
BRAÇOS %%%%%%%%%%
26
27 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
28 %%
29 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30
31 n=length(Ay);

```

```

28
29 REQ_A=zeros(2,n,3);
30 REQ_B=zeros(2,n,3);
31
32 for ii=1:1:2
33
34 % ii==1 Càlcul de les forces del REQUERIMENT A (PP+Q_us)
35 % ii==2 Càlcul de les forces del REQUERIMENT B (PP)
36
37 if(ii==1)
38 F_uniforme = Q_us*ample;
39 %[N/mm] Força uniformement repartida degut a la sobrecarrega
d'ús
40 elseif(ii==2)
41 F_uniforme = 0;
42 %[N/mm] Força uniformement repartida degut a la sobrecarrega
d'ús
43 endif
44
45
46 for i=1:1:n
47
48 % Càlcul de les masses de cada part dels braços %
49
50 m_voladaART=e_ala*d*(ample-escletxa)*dens;
51 m_animaART=e_anima*((Ay(i)-By(i))-ala_lliure)*Az/2*dens;
52 m_alaART=e_ala*(Ay(i)-By(i))*(ample-escletxa)*dens;
53
54 m_voladaBIE=e_ala*Cy*(ample-escletxa)*dens;
55 m_animaBIE=e_anima*((By(i)-Cy)-ala_lliure)*Az/2*dens;
56 m_alaBIE=e_ala*(By(i)-Cy)*(ample-escletxa)*dens;
57 m_pletBIE=2*e_plet*ample_plet*Cz*dens;
58
59 % Montatge i resolució del sistema per trobar reaccions en B %
60 MAT=[Az, (Ay(i)-By(i));Cz,-(By(i)-Cy)];
61 T_IND(1,1)= -m_voladaART*g*d/2+m_animaART*g*(Ay(i)-By(i)-
ala_lliure)/3 ...
62 +m_alaART*g*(Ay(i)-By(i))/2-F_uniforme*d*d/2 ...
63 +F_uniforme*(Ay(i)-By(i))*(Ay(i)-By(i))/2;
64 T_IND(2,1)=-m_voladaBIE*g*Cy/2+m_alaBIE*g*(By(i)-Cy)/2 ...
65 +m_animaBIE*g*(By(i)-Cy-ala_lliure)/3 ...
66 +F_uniforme*(By(i)-Cy)*(By(i)-Cy)/2-F_uniforme*Cy*Cy/2;
67 x=MAT\T_IND;
68 FBy(i)=x(1);
69 FBz(i)=x(2);
70
71 % Reaccions en articulació A %
72 FAy(i)=FBy(i);
73 FAz(i)=-FBz(i)+F_uniforme*(d+Ay(i)-By(i)) ...
74 +m_animaART*g+m_voladaART*g+m_alaART*g;
75
76 % Reaccions en articulació C %
77 FCy(i)=FBy(i);
78 FCz(i)=FBz(i)+m_alaBIE*g+m_animaBIE*g+m_voladaBIE*g+m_pletBIE*g
...
79 +F_uniforme*(By(i));
80
81
82 endfor
83
84 if(ii==1)

```

```

85 REQ_A(1,:,1)=FAy;
86 REQ_A(2,:,1)=FAz;
87 REQ_A(1,:,2)=FBy;
88 REQ_A(2,:,2)=FBz;
89 REQ_A(1,:,3)=FCy;
90 REQ_A(2,:,3)=FCz;
91
92 elseif(ii==2)
93 REQ_B(1,:,1)=FAy;
94 REQ_B(2,:,1)=FAz;
95 REQ_B(1,:,2)=FBy;
96 REQ_B(2,:,2)=FBz;
97 REQ_B(1,:,3)=FCy;
98 REQ_B(2,:,3)=FCz;
99
100 endif
101
102 endfor
103
104
105
106 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
107 %% GRÀFICA OPTIMITZACIÓ ESPESSORS %%%%%%%%%
108 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
109
110 % SORTIDA PER PANTALLA DE LA GRAFICA REQUERIMENT A (PP+Q_us) %
111
112 if(graf(4)==1)
113
114 MATGRAF=[REQ_A(1,:,1);REQ_A(2,:,1);REQ_A(2,:,2);REQ_A(2,:,3)];
115 MATGRAF=MATGRAF';
116
117 bar(MATGRAF)
118 title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS -
REQUERIMENT A')
119 xlabel('Dimensio X - NUMERO DE BRAÇ')
120 ylabel('FORÇA [N]')
121 legend('Forces FAY, FBy i FCy','Força FAz','Força FBz','Força
FCz')
122 axis([0,n+1,-500,8000])
123
124 % alternativa plot %
125
126 %x_graf=PUNTS_positius(:,1,1);
127
128 %plot(x_graf,REQ_A(1,:,1),'r',x_graf,REQ_A(1,:,2),'r',x_graf,REQ_A(1,
,3),'r', ...
129
130 %x_graf,REQ_A(2,:,1),'b',x_graf,REQ_A(2,:,2),'g',x_graf,REQ_A(2,:,3))
131
130 % title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS
- REQUERIMENT A')
131 % xlabel('Dimensio X - Posicio dels braços [mm]')
132 % ylabel('FORÇA [N]')
133 % legend('Força FAY','Força FBy','Força FCy','Força FAz','Força
FBz','Força FCz')
134
135
136 % SORTIDA PER PANTALLA DE LA GRAFICA REQUERIMENT A (PP+Q_us) %
137
138 elseif(graf(4)==2)

```

```

139
140 MATGRAF=[REQ_B(1,:,1);REQ_B(2,:,1);REQ_B(2,:,2);REQ_B(2,:,3)];
141 MATGRAF=MATGRAF';
142
143 bar(MATGRAF)
144 title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS -
REQUIRIMENT B')
145 xlabel('Dimensio X - NUMERO DE BRAÇ')
146 ylabel('FORÇA [N]')
147 legend('Forces FAy, FBy i FCy', 'Força FAz', 'Força FBz', 'Força
FCz')
148 axis([0,n+1,-100,800])
149
150
151 % alternativa plot %
152
153 %x_graf=PUNTS_positius(:,1,1);
154
%plot(x_graf,REQ_B(1,:,1),'r',x_graf,REQ_B(1,:,2),'r',x_graf,REQ_B(1,:
,3),'r', ...
155
%x_graf,REQ_B(2,:,1),'b',x_graf,REQ_B(2,:,2),'g',x_graf,REQ_B(2,:,3))
156
157 % title('FORCES DESCOMPOSADES EN LES ARTICULACIONS DELS BRAÇOS
- REQUIRIMENT B')
158 % xlabel('Dimensio X - Posicio dels braços [mm]')
159 % ylabel('FORÇA [N]')
160 % legend('Força FAy', 'Força FBy', 'Força FCy', 'Força FAz', 'Força
FBz', 'Força FCz')
161
162 endif
163
164 endfunction

```

8.1.7 FUNCIO "OPT_BULO_ORELLES.M"

```

1 function [D_opt,cor_opt]=opt_bulo_orelles
2
3 [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
4
5 [REQ_A,REQ_B]=calcul_bracos;
6
7 [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
8 apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
9 vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
10 exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
11 h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(2);
12
13
14 e_lateral=(ample-escletxa)/4; %[mm]
15 e_central=(ample-escletxa)/2; %[mm]
16
17 %% Fixació paràmetres de barrido %%
18
19 D=[5:0.25:30]; %[mm]
20 cor=[0.5:0.25:10]; %[mm]
21 n=length(D); %[-]

```

```

22 m=length(cor); %[-]
23
24 %% Càlcul tensió admissibles %%
25
26 O_adm=tens_max/C_s; %[N/mm2]
27
28 %% Formació matrius %%
29
30 O_val_A=zeros(n,m);
31 O_val_B=zeros(n,m);
32 O_val_C=zeros(n,m);
33
34 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
35 %% Càlcul per a cada articulació %%
36 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
37 %% i=1: art.A // i=2: art.B // i=3: art.C %%
38
39 for i=1:1:3
40
41
42 %% Càlcul per a cada Diàmetre de buló i secció d'orella %%
43 %% j: fa referència al buló %% k: fa referència a la corona %%
44
45 for j=1:1:n
46 for k=1:1:m
47
48
49 %[N] Combinació de forces en les articulacions i selecció de la
maxima %
50
51 F_totes=sqrt(REQ_A(1,:,i).^2+REQ_A(2,:,i).^2);
52 F=max(F_totes);
53
54 %[N/mm2] Esforç tallant en la secció de canvi entre orelles %
55 Tau=8/3*F/pi/D(j)^2;
56 O_bulo_tallant=sqrt(3*Tau^2);
57
58 %[N/mm2] Esforç normal en el buló %
59 O_bulo_normal=F/D(j)/e_central;
60
61 %[N/mm2] Esforç normal a les orelles %
62 O_orelles_normal=F/2/e_central/cor(k);
63
64 %[N/mm2] Esforç tallant a les orelles %
65 Tau=3/2*F/cor(k)/e_central;
66 O_orelles_tallant=sqrt(3*Tau^2);
67
68 %% DISCRETITZACIÓ VALORS ADMISIBLES %%
69
70
O_max=max([O_bulo_normal,O_bulo_tallant,O_orelles_normal,O_orelles_tal
lant]);
71
72 if(O_max<O_adm)
73
74 if(i==1)
75 O_val_A(j,k)=O_max;
76 elseif(i==2)
77 O_val_B(j,k)=O_max;
78 elseif(i==3)
79 O_val_C(j,k)=O_max;

```

```

80     endif
81
82     endif
83
84     endfor
85     endfor
86     endfor
87
88     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
89     %% SEL·LECCIÓ DIMENSIONS ÒPTIMES %%
90     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
91
92     % ARTICULACIÓ A %
93
94     u=1;
95     comp=0;
96     while (comp==0)
97         comp=O_val_A(n,u);
98         cor_opt(1)=cor(u);
99         u=u+1;
100     endwhile
101
102     u=1;
103     comp=0;
104     while (comp==0)
105         comp=O_val_A(u,m);
106         D_opt(1)=D(u);
107         u=u+1;
108     endwhile
109
110     % ARTICULACIÓ B %
111
112     u=1;
113     comp=0;
114     while (comp==0)
115         comp=O_val_B(n,u);
116         cor_opt(2)=cor(u);
117         u=u+1;
118     endwhile
119
120     u=1;
121     comp=0;
122     while (comp==0)
123         comp=O_val_B(u,m);
124         D_opt(2)=D(u);
125         u=u+1;
126     endwhile
127
128     % ARTICULACIÓ C%
129
130     u=1;
131     comp=0;
132     while (comp==0)
133         comp=O_val_C(n,u);
134         cor_opt(3)=cor(u);
135         u=u+1;
136     endwhile
137
138     u=1;
139     comp=0;
140     while (comp==0)

```



```

141 comp=O_val_C(u,m);
142 D_opt(3)=D(u);
143 u=u+1;
144 endwhile
145
146
147 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
148 %% CÀLCUL PER A CADA ARTICULACIÓ %%
149 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
150
151 if(graf(6)==1)
152
153 [corcor,DD]=meshgrid(cor,D);
154 mesh(DD,corcor,O_val_A,'linewidth',2)
155
156 title('TENSió MÀXIMA SUPORTADA EN ARTICULACIÓ A - REQUERIMENT A')
157 xlabel('DIÀMETRE BULÓ [mm]')
158 ylabel('GRUIX ORELLA _ CORONA [mm]')
159 zlabel('TENSió MÀXIMA [Nmm]')
160
161 endif
162
163
164 endfunction

```

8.1.8 FUNCió “OPT_CORREDERA.M”

```

1 function
[REACCIONS_PPiQus,REACCIONS_PP,FCAD,tub_eleccio]=opt_corredera
2
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 %% CRIDA DE DADES %%%%%%%%%
5 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7 [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
8
9 [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
10 apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
11 vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
12 exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
13 h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(1);
14
15 [PUNTS_positiu,PUNTS_negatiu]=superficies;
16 posicio=PUNTS_positiu(:,1,1)';
17
18 [REQ_A,REQ_B]=calcul_bracos;
19
20 F_lleva = 50*g+ample*1500*Q_us; %[N] Força sobre mitja lleva amb
Q_us
21 l_corr = 42*ample+2*vol_cadena; %[mm] longitud corredera
22
23 l_A=16*ample; %[mm] longitud primer vano
24 l_B=10*ample; %[mm] longitud vano del mig
25 l_C=16*ample; %[mm] longitud ultim vano
26
27 %for
28
29 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30 %%%%% REQUERIMENT B : PP %%%%%%%%%

```

```

31 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
32 % no afecta la seccio de la corredera %
33
34 % Esforços unificats del requeriment B
35
36 FY_unif=sum(REQ_B(1, :, 3)); %[N]
37 M_FY_unif=sum(posicio.*REQ_B(1, :, 3)); %[Nmm]
38
39 % CALCUL DELS ESFORÇOS SIMPLIFICATS %
40
41 sumatori_zA=0;
42 sumatori_zB=0;
43 sumatori_zC=0;
44
45 for i=1:1:14
46 sumatori_zA=sumatori_zA+REQ_B(2,i,3);
47 endfor
48 for i=15:1:24
49 sumatori_zB=sumatori_zB+REQ_B(2,i,3);
50 endfor
51 for i=25:1:38
52 sumatori_zC=sumatori_zC+REQ_B(2,i,3);
53 endfor
54
55 %[N/mm] Carga uniformement repartida equivalent eix Z
56
57 wA_z=(sumatori_zA+F_lleva+m_lineal(1)*l_A*g)/l_A;
58 wB_z=(sumatori_zB+m_lineal(1)*l_B*g)/l_B;
59 wC_z=(sumatori_zC+F_lleva+m_lineal(1)*l_C*g)/l_C;
60
61 % CÀLCUL DE LES REACCIONS RZ a partir del mètode dels 3 moments
62 % continus %
63 MAT =[2*(l_A+l_B), l_B; ...
64 l_B, 2*(l_B+l_C)];
65
66 T_IND =[-1/4*(wA_z*l_A^3+wB_z*l_B^3); ...
67 -1/4*(wB_z*l_B^3+wC_z*l_C^3)];
68
69 Sol=MAT\T_IND; %[Nmm] Calcul del moment intern generat
70 M_02=Sol(1); % en els punts 02 i 03
71 M_03=Sol(1);
72
73
74 Feq_A=wA_z*l_A; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
75 A
76 Feq_B=wB_z*l_B; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
77 B
78 Feq_C=wC_z*l_C; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
79 C
80
81 RZ(1)=Feq_A/2+M_02/l_A; %[N] Reacció node 01
82
83 RZ(2)=Feq_A/2+Feq_B/2-M_02/l_A-M_02/l_B+M_03/l_B; %[N] Reacció
84 node 02
85
86 RZ(3)=Feq_B/2+Feq_C/2+M_02/l_B-M_03/l_C-M_03/l_B; %[N] Reacció
87 node 03
88
89 RZ(4)=Feq_C/2+M_03/l_C; %[N] Reacció node 04
90
91
92 % CÀLCUL DE LES REACCIONS FCAD [N] %

```

```

86
87
FCAD(2)=(M_FY_unif+FY_unif*(21*ample+vol_cadena))/(42*ample+2*vol_cade
na);
88   FCAD(1)=FY_unif-FCAD(2);
89
90
91   % CÀLCUL DELS MOMENTS Mx [Nmm] %
92   % Suposició: Mx_1 = Mx_2 = Mx_3 = Mx_4 = Mx
93
94   Mx=(sum(REQ_B(2,:,3))*(tubs_rec(1,1)/2+exentric_C)-
(FCAD(1)+FCAD(2))*r_cadena)/4;
95
96
97   REACCIONS_PP=[0,0,0,0;RZ; Mx, Mx, Mx, Mx];
98
99
100
101   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
102   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
103   %%%%% BUCLE ii : ample corredera %%%%%%%%%
104   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
105   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
106
107   % [N/mm2] Calcul de tensió admissible
108   O_adm=tens_max/C_s;
109
110   % [mm] Calcul de la fletxa/deformada admissible
111   fletxa_adm=l_A/fletxa;
112
113   % [mm] Tenció elegida inicial
114   O_max_eleccio=0;
115
116   m=length(tubs_rec(:,1));
117   for ii=1:1:m
118
119   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
120   %%%%% REQUERIMENT A : PP+Q_us %%%%%%%%%
121   %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
122
123   % CALCUL DELS ESFORÇOS SIMPLIFICATS %
124
125   sumatori_yA=0;
126   sumatori_yB=0;
127   sumatori_yC=0;
128   sumatori_zA=0;
129   sumatori_zB=0;
130   sumatori_zC=0;
131
132   for i=1:1:14
133     sumatori_yA=sumatori_yA+REQ_A(1,i,3);
134     sumatori_zA=sumatori_zA+REQ_A(2,i,3);
135   endfor
136   for i=15:1:24
137     sumatori_yB=sumatori_yB+REQ_A(1,i,3);
138     sumatori_zB=sumatori_zB+REQ_A(2,i,3);
139   endfor
140   for i=25:1:38
141     sumatori_yC=sumatori_yC+REQ_A(1,i,3);
142     sumatori_zC=sumatori_zC+REQ_A(2,i,3);
143   endfor

```

```

144
145 %[N/mm1] Carga uniformement repartida equivalent eix Y
146
147 wA_y=sumatori_yA/l_A;
148 wB_y=sumatori_yB/l_B;
149 wC_y=sumatori_yC/l_C;
150
151 %[N/mm1] Carga uniformement repartida equivalent eix Z
152
153 wA_z=(sumatori_zA+F_lleva+m_lineal(ii)*l_A*g)/l_A;
154 wB_z=(sumatori_zB+m_lineal(ii)*l_B*g)/l_B;
155 wC_z=(sumatori_zC+F_lleva+m_lineal(ii)*l_C*g)/l_C;
156
157 % Càlcul de les reaccions RY a partir del mètode dels 3 moments
continus %
158
159 MAT =[2*(l_A+l_B), l_B; ...
160 l_B, 2*(l_B+l_C)];
161
162 T_IND =[-1/4*(wA_y*l_A^3+wB_y*l_B^3); ...
163 -1/4*(wB_y*l_B^3+wC_y*l_C^3)];
164
165 Sol=MAT\T_IND; %[Nmm] Càlcul del moment intern generat
166 M_02=Sol(1); % en els punts 02 i 03
167 M_03=Sol(1);
168
169
170 Feq_A=wA_y*l_A; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
A
171 Feq_B=wB_y*l_B; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
B
172 Feq_C=wC_y*l_C; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
C
173
174 RY(1)=Feq_A/2+M_02/l_A; %[N] Reacció node 01
175 RY(2)=Feq_A/2+Feq_B/2-M_02/l_A-M_02/l_B+M_03/l_B; %[N] Reacció
node 02
176 RY(3)=Feq_B/2+Feq_C/2+M_02/l_B-M_03/l_C-M_03/l_B; %[N] Reacció
node 03
177 RY(4)=Feq_C/2+M_03/l_C; %[N] Reacció node 04
178
179 % Càlcul de les reaccions RZ a partir del mètode dels 3 moments
continus %
180
181 MAT =[2*(l_A+l_B), l_B; ...
182 l_B, 2*(l_B+l_C)];
183
184 T_IND =[-1/4*(wA_z*l_A^3+wB_z*l_B^3); ...
185 -1/4*(wB_z*l_B^3+wC_z*l_C^3)];
186
187 Sol=MAT\T_IND; %[Nmm] Càlcul del moment intern generat
188 M_02=Sol(1); % en els punts 02 i 03
189 M_03=Sol(1);
190
191
192 Feq_A=wA_z*l_A; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
A
193 Feq_B=wB_z*l_B; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
B
194 Feq_C=wC_z*l_C; %[N] Força equivalent puntual al centre del vano
C

```

```

195
196 RZ(1)=Feq_A/2+M_02/l_A; %[N] Reacció node O1
197 RZ(2)=Feq_A/2+Feq_B/2-M_02/l_A-M_02/l_B+M_03/l_B; %[N] Reacció
node O2
198 RZ(3)=Feq_B/2+Feq_C/2+M_02/l_B-M_03/l_C-M_03/l_B; %[N] Reacció
node O3
199 RZ(4)=Feq_C/2+M_03/l_C; %[N] Reacció node O4
200
201
202
203 % Càlcul dels moments Mx [Nmm] %
204 % Suposició: Mx_1 = Mx_2 = Mx_3 = Mx_4 = Mx
205
206 Mx=sum(REQ_A(2,:,3))*(tubs_rec(ii,1)/2+exentric_C)/4;
207
208 REACCIONS_A=[RY; RZ; Mx, Mx, Mx, Mx];
209
210 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
211 %%%%%%%%%%% CALCUL TENSIONS %%%%%%%%%%%
212 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
213
214 % El càlcul de tensions es farà només amb les dades del
requieriment A,
215 % - el més restrictiu -.
216
217 % POSICIONAMENT DE LES ACCIONS EN CADA NODE %
218
219 x_moments=[-21*ample;115;21*ample];
220
221 FY_moments(1)=-REACCIONS_A(1,1);
222 FY_moments(33)=-REACCIONS_A(1,2);
223 FY_moments(53)=-REACCIONS_A(1,3);
224 FY_moments(85)=-REACCIONS_A(1,4);
225
226 FZ_moments(1)=-REACCIONS_A(2,1);
227 FZ_moments(33)=-REACCIONS_A(2,2);
228 FZ_moments(53)=-REACCIONS_A(2,3);
229 FZ_moments(85)=-REACCIONS_A(2,4);
230
231 TORS_moments(1)=-REACCIONS_A(3,1);
232 TORS_moments(33)=-REACCIONS_A(3,2);
233 TORS_moments(53)=-REACCIONS_A(3,3);
234 TORS_moments(85)=-REACCIONS_A(3,4);
235
236 for i=1:1:16
237     posicio=i*2;
238     FY_moments(posicio)= wA_y*ample;
239     FZ_moments(posicio)= wA_z*ample;
240
TORS_moments(posicio)=(sumatori_zA/l_A*ample)*(tubs_rec(ii,1)/2+exentr
ic_C);
241     endfor
242
243     for i=17:1:26
244         posicio=i*2;
245         FY_moments(posicio)= wB_y*ample;
246         FZ_moments(posicio)= wB_z*ample;
247
TORS_moments(posicio)=(sumatori_zB/l_B*ample)*(tubs_rec(ii,1)/2+exentr
ic_C);
248     endfor

```

```

249
250     for i=27:1:42
251         posicio=i*2;
252         FY_moments(posicio)= wC_y*ample;
253         FZ_moments(posicio)= wC_z*ample;
254
TORS_moments(posicio)=(sumatori_zC/l_C*ample)*(tubs_rec(ii,1)/2+exentr
ic_C);
255     endfor
256
257     % Càlcul de moments flectors i torsor %
258
259     n=length(x_moments);
260     MeixZ=zeros(1,n); %[Nmm] Moment flector respecte l'eix Z
261     MeixY=zeros(1,n); %[Nmm] Moment flector respecte l'eix Y
262     Mtorsor=zeros(1,n); %[Nmm] Moment torsor longitudinal
263     for i=1:1:n
264         for j=1:1:i
265             M_unitariZ=abs(x_moments(i)-x_moments(j))*FY_moments(j);
266             M_unitariY=abs(x_moments(i)-x_moments(j))*FZ_moments(j);
267             MeixZ(i)=MeixZ(i)+M_unitariZ;
268             MeixY(i)=MeixY(i)+M_unitariY;
269             Mtorsor(i)=Mtorsor(i)+TORS_moments(j);
270         endfor
271     endfor
272
273     % Càlcul de tensions %
274
275     %[mm4] Càlcul d'Inèrcies de la secció tubular
276     I_y= tubs_rec(ii,1)*tubs_rec(ii,2)^3/12 - ...
277     (tubs_rec(ii,1)-2*e_tubs)*(tubs_rec(ii,2)-2*e_tubs)^3/12;
278     I_z= tubs_rec(ii,2)*tubs_rec(ii,1)^3/12 - ...
279     (tubs_rec(ii,2)-2*e_tubs)*(tubs_rec(ii,1)-2*e_tubs)^3/12;
280
281     %[mm3] Càlcul de mòduls resistents
282     W_y= I_y/(tubs_rec(ii,2)/2);
283     W_z= I_z/(tubs_rec(ii,1)/2);
284
285     %[N/mm2] Càlcul de tensions maximes per cada seccio
286     O_max(ii,:)=abs(MeixY)/W_y+abs(MeixZ)/W_z;
287
288
289     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
290     %%%%%%%%% Càlcul fletxa en direcció -Z %%%%%%%%%
291     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
292
293     xx=1:50:1_A;
294     nn=length(xx);
295     for j=1:1:nn
296
297         Z_FLETXA(ii,j)= -(1)*M_02*1_A/(6*E*I_y)*(1_A-xx(j))*(1-(1_A-
xx(j))/1_A)^2 ...
298         -wA_z*xx(j)/(24*E*I_y)*(xx(j)^3-2*1_A*xx(j)^2+1_A^3);
299     endfor
300
301
302     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
303     %%%%%%%%% SEL·LECCIÓ DE LA SECCIÓ ÒPTIMA %%%%%%%%%
304     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
305
306     O_max_max=max(O_max(ii,:));

```



```

307 fletxa_max=max(Z_FLETXA(ii,:));
308
309 if(O_max_max<O_adm && fletxa_max<fletxa_adm)
310 if(O_max_max>O_max_eleccio)
311 tub_eleccio=tubs_rec(ii,:);
312 O_max_eleccio=O_max_max;
313 REACCIONS_PPiqus=REACCIONS_A;
314 endif
315 endif
316
317 endfor
318
319
320 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
321 %%%%%%%%% SORTIDA DE GRAFIQUES %%%%%%%%%
322 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
323
324 MATGRAF1=zeros(n,2);
325 MATGRAF1(:,1)=MeixY;
326 MATGRAF2(:,2)=MeixZ;
327
328 if(graf(5)==1)
329
330 % GRAFICA MOMENT FLECTOR Y, MOMENT FLECTOR Z, MOMENT TORSOR %
331
332 plot(x_moments,MeixY,'linewidth',3,'r',x_moments,MeixZ,'linewidth',3,'
g', ...
333 x_moments,Mtorsor,'linewidth',3,'b')
334 hold on
335 bar(x_moments,MATGRAF1,'r')
336 hold on
337 bar(x_moments,MATGRAF2,'g')
338 title('MOMENTS FLECTORS SOBRE LA CORREDERA - REQUIRIMENT A')
339 xlabel('Dimensio X [mm]')
340 ylabel('MOMENTS FLECTORS / MOMENT TORSOR [Nmm]')
341 legend('Moment flector respecte eix Y','Moment flector respecte
eix Z','Moment torsor')
342
343 elseif(graf(5)==2)
344
345 % GRAFICA MOMENT TORSOR %
346
347 plot(x_moments,Mtorsor,'linewidth',2,'b')
348 hold on
349 bar(x_moments,Mtorsor,0.2,'c')
350 title('MOMENTS TORSORS SOBRE LA CORREDERA - REQUIRIMENT A')
351 xlabel('Dimensio X [mm]')
352 ylabel('MOMENT TORSOR [Nmm]')
353
354 elseif(graf(5)==3)
355
356 % GRAFICA DE TENSIONS MÀXIMES EN NCADA SECCIO %
357
358 O_adm_graf=O_adm*ones(1,n);
359
360 plot(x_moments,O_max(1,:), 'b','linewidth',1.5, ...
361 x_moments,O_max(2,:), 'r','linewidth',1.5, ...
362 x_moments,O_max(3,:), 'r','linewidth',1.5, ...
363 x_moments,O_max(4,:), 'r','linewidth',1.5, ...
364 x_moments,O_max(5,:), 'g','linewidth',1.5, ...

```

```

365 x_moments,O_max(6,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
366 x_moments,O_max(7,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
367 x_moments,O_max(8,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
368 x_moments,O_max(9,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
369 x_moments,O_max(10,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
370 x_moments,O_max(11,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
371 x_moments,O_max(12,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
372 x_moments,O_max(13,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
373 x_moments,O_max(14,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
374 x_moments,O_max(15,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
375 x_moments,O_adm_graf, '--', 'linewidth',1.5)
376
377 title('TENSIONS MÀXIMES EN CADA SECCIÓ I PER A CADA TUB')
378 xlabel('Dimensio X [mm]')
379 ylabel('TENSIÓ MÀXIMA EN NCADA SECCIO [N/mm2]')
380 legend('160x80mm',...
381 '180x80mm',...
382 '180x100mm',...
383 '180x120mm',...
384 '200x100mm',...
385 '200x120mm',...
386 '200x150mm',...
387 '200x160mm',...
388 '250x100mm',...
389 '250x150mm',...
390 '250x200mm',...
391 '300x100mm',...
392 '300x150mm',...
393 '300x200mm',...
394 '300x220mm',...
395 'TENSIÓ ADMISSIBLE')
396
397 elseif(graf(5)==4)
398
399 % GRAFICA DE FLEXA EN SECTOR A -inicial- %
400
401
402 fletxa_adm_graf=fletxa_adm*ones(1,nn);
403
404 plot(xx,Z_FLETXA(1,:), 'b', 'linewidth',1.5, ...
405 xx,Z_FLETXA(2,:), 'r', 'linewidth',1.5, ...
406 xx,Z_FLETXA(3,:), 'r', 'linewidth',1.5, ...
407 xx,Z_FLETXA(4,:), 'r', 'linewidth',1.5, ...
408 xx,Z_FLETXA(5,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
409 xx,Z_FLETXA(6,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
410 xx,Z_FLETXA(7,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
411 xx,Z_FLETXA(8,:), 'g', 'linewidth',1.5, ...
412 xx,Z_FLETXA(9,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
413 xx,Z_FLETXA(10,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
414 xx,Z_FLETXA(11,:), 'm', 'linewidth',1.5, ...
415 xx,Z_FLETXA(12,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
416 xx,Z_FLETXA(13,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
417 xx,Z_FLETXA(14,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
418 xx,Z_FLETXA(15,:), 'c', 'linewidth',1.5, ...
419 xx,-fletxa_adm_graf, '--', 'linewidth',1.5)
420
421 title('DEFORMADA DE LA CORREDERA AL LLARG DEL PRIMER VANO')
422 xlabel('Dimensió X [mm]')
423 ylabel('DEFORMADA. FLETXA EN EL PRIMER VANO [mm]')
424 axis([0,4200,-20,5])
425 legend('160x80mm',...

```

```

426 '180x80mm',...
427 '180x100mm',...
428 '180x120mm',...
429 '200x100mm',...
430 '200x120mm',...
431 '200x150mm',...
432 '200x160mm',...
433 '250x100mm',...
434 '250x150mm',...
435 '250x200mm',...
436 '300x100mm',...
437 '300x150mm',...
438 '300x200mm',...
439 '300x220mm',...
440 'FLETXA ADMISSIBLE')
441
442 endif
443
444
445
446
447
448 endfunction

```

8.1.9 FUNCIO "OPT_ARBRE_TRANSMISSIO.M"

```

1  function [D_central,D_inicial]=opt_arbre_transmissio
2
3  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4  %%  CRIDA DE DADES  %%%%%%%%%%
5  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7  [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
8  apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
9  vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
10  exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
11  h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(4);
12
13  [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
14
15  [REACCIONS_PPiqus,REACCIONS_PP,FCAD,tub_eleccio]=opt_corredera;
16
17  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
18  %%  CÀLCUL VALORS CONSTANTS  %%%%%%%%%%
19  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
20
21  FY=FCAD(1)+FCAD(2); %[N] Reacció horitzontal en els suports
22  M_T=(FCAD(1)+FCAD(2))*r_cadena; %[Nmm] Moment en zona mitja
23  M_acciona=2*M_T; %[Nmm] Moment en zona inicial de l'arbre
24
25  Mfz_0=(FCAD(1)+FCAD(2))*vol_cadena; %[Nmm] Moment flector al
centre de l'arbre
26
27
28  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
29  %%  CÀLCUL ITERATIU SECCIÓ 0 -Central- %%%%%%%%%%
30  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
31
32  D_c=[40:1:200]; %[mm] Anàlisi diàmetres centrals

```

```

33 D_i=[40:1:200]; %[mm] Analisi diàmetres inicials
34 n=length(D_c);
35 m=length(D_i);
36
37 for i=1:1:n
38 Ob_max=Mfz_0/(0.1*D_c(i)^3); %[N/mm2] Tensió normal màxima
39 Tau_max=M_T/(0.2*D_c(i)^3); %[N/mm2] Tensió tangencial màxima
40 Oeq_0(i)=sqrt(Ob_max^2+3*Tau_max^2); %[N/mm2] Tensió equivalent
de von misses
41 endfor
42
43 for i=1:1:m
44 Ob_max=0/(0.1*D_i(i)^3); %[N/mm2] Tensió normal màxima
45 Tau_max=M_T/(0.2*D_i(i)^3); %[N/mm2] Tensió tangencial màxima
46 Oeq_C2(i)=sqrt(Ob_max^2+3*Tau_max^2); %[N/mm2] Tensió equivalent
de von misses
47 endfor
48
49 %% CÀLCUL TENSIÓ ADMISSIBLE %%%%%
50
51 O_adm=tens_max/C_s; %[N/mm2] Tensió admissible de l'arbre
52 O_adm_graf=ones(1,n)*O_adm; %[N/mm2] Tensió admissible de l'arbre
53
54
55 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
56 %% SEL·LECCIÓ VALORS OPTIMS %%%%%
57 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
58
59 u=1;
60 comp=10^10;
61 while(comp>O_adm)
62 comp=Oeq_0(u);
63 D_central=D_c(u);
64 pos_c=u;
65 u=u+1;
66 endwhile
67
68 u=1;
69 comp=10^10;
70 while(comp>O_adm)
71 comp=Oeq_C2(u);
72 D_inicial=D_i(u);
73 pos_i=u;
74 u=u+1;
75 endwhile
76
77
78 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
79 %% SORTIDA DE GRÀFIQUES %%%%%
80 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
81
82 if(graf(7)==1)
83
84 plot(D_c,Oeq_0,'b','linewidth',1.5, ...
85 D_i,Oeq_C2,'r','linewidth',1.5, ...
86 D_central,Oeq_0(pos_c),'d','linewidth',1.5,...
87 D_inicial,Oeq_C2(pos_i),'d','linewidth',1.5,...
88 D_i,O_adm_graf,'--','linewidth',1.5)
89
90 title('TENSIONS MÀXIMES EN CADA SECCIÓ/TRAM DE L'ARBRE DE
TRANSMISSIO')

```

```

91 xlabel('Diàmetre de la secció [mm]')
92 ylabel('TENSIÓ MÀXIMA EN CADA SECCIÓ/TRAM [N/mm2]')
93 axis([40,200,0,200])
94 legend('TRAM CENTRAL',...
95 'TRAM INICIAL',...
96 'D. CENTRAL ÒPTIM',...
97 'D. INICIAL ÒPTIM',...
98 'TENSIÓ ADMISSIBLE')
99
100 endif
101
102 endfunction

```

8.1.10 FUNCIO "OPT_BIGA.M"

```

1  function [opt_pes,opt_e_ala,opt_e_anima]=opt_biga
2
3  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4  %%  CRIDA DE DADES  %%%%%%%%%%
5  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6
7  [tens_max,dens,fletxa,E,g,Q_us,C_s,escletxa,ala_lliure,...
8  apoyo_mig,apoyo_final,long_mig,long_final,...
9  vol_cadena,r_cadena,dist_motor,dist_arbre,...
10  exentric_C,e_xapes,e_tubs,tubs_rec,marge_corr,...
11  h_biga,b_biga,m_lineal]=parametres_opt(5);
12
13  [long_tot,ext1,ext2,R,S,Az,Cz,Cy,d,ample,rec,graf]=parametres;
14
15  [REACCIONS_PPiqus,REACCIONS_PP,FCAD,tub_eleccio]=opt_corredera;
16
17
18  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
19  %%  Càlcul de les reaccions  %%%%%%%%%%
20  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
21
22  RY2=REACCIONS_PPiqus(1,2); %[N] Reacció horitzontal sobre la biga
23  RY3=REACCIONS_PPiqus(1,3); %[N] Reacció horitzontal sobre la biga
24  RZ2=REACCIONS_PPiqus(2,2); %[N] Reacció vertical sobre la biga
25  RZ3=REACCIONS_PPiqus(2,3); %[N] Reacció vertical sobre la biga
26
27  % Assumpcions simplificadores de les accions sobre la biga
28  RY=max(RY2,RY3); %[N] Reacció horitzontal sobre la biga
29  RZ=max(RZ2,RZ3); %[N] Reacció vertical sobre la biga
30
31  h_corr=tub_eleccio(2); %[mm] Altura corredera
32  b_corr=tub_eleccio(1); %[mm] Altura corredera
33  l=b_corr/2+Cy+exentric_C; %[mm] Punt aplicació reaccions des del
centre
34
35  M_R=(RZ*(long_mig/2-l)*(l+long_mig/2))/long_mig; %[Nmm] Moment
reacció esq
36  M_S=M_R; %[Nmm] Moment reacció dret
37
38  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
39  %%  Càlcul d'esforços en la secció T  %%%%%%%%%%
40  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
41
42  Mfx=RZ*(long_mig/2-l)-M_R; %[Nmm] Moment flector en la secció T

```

```

43 Ax=RY; %[N] Esforç axil en el tram T - S
44
45 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
46 %% Control tensió, fletxa admissibles %%
47 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
48
49 O_adm=tens_max/C_s; %[N/mm2]
50 f_adm = long_mig/fletxa; %[mm]
51
52
53 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
54 %% CÀLCUL EN BUCLE DELS ESPESSORS OPTIMS %%%%%%%%%
55 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
56
57 n=length(e_xapes);
58 O_max=zeros(n,n);
59 OPT_PESBIGA_ok=zeros(n); %[creació de les variables de sortida
bucle]
60 OPT_PESBIGA_no=zeros(n); %[creació de les variables de sortida
bucle]
61 opt_pes=10^10; %[creació variable optim pes sobredimensionat]
62
63 for i=1:1:n
64 e_ala=e_xapes(i); %[mm] espessor de l'ala
65 for j=1:1:n
66 e_anima=e_xapes(j); %[mm] espessor de l'ànima
67
68
69 % Calcul del CENTRE DE GRAVETAT de la secció al punt G %
70 % (Mirar esquema per entendre a que fa referencia cada cota)
71 A_ala=e_ala*b_biga; %[mm2]
72 A_abaix=e_anima*(h_biga/2-e_ala-h_corr/2-marge_corr); %[mm2]
73 A_adalt=e_anima*(h_biga/2-h_corr/2-marge_corr); %[mm2]
74
75 z_ala=e_ala/2; %[mm]
76 z_abaix=e_ala+(h_biga/2-e_ala-h_corr/2-marge_corr)/2; %[mm]
77 z_adalt=h_biga/2+h_corr/2+marge_corr+(h_biga/2-h_corr/2-
marge_corr)/2; %[mm]
78
79
Z_cg=(A_ala*z_ala+A_abaix*z_abaix+A_adalt*z_adalt)/(A_ala+A_abaix+A_ad
alt);
80 %[mm]
81 dz_ala=abs(z_ala-Z_cg); %[mm]
82 dz_abaix=abs(z_abaix-Z_cg); %[mm]
83 dz_adalt=abs(z_adalt-Z_cg); %[mm]
84
85
86 % Calcul del MOMENT D'INÈRCIA de la secció al punt G %
87
88 Ix_ala=b_biga*e_ala^3/12+A_ala*dz_ala^2; %[mm^4]
89 Ix_abaix=e_anima*(h_biga/2-h_corr/2-marge_corr-
e_ala)^3/12+A_abaix*dz_abaix^2; %[mm^4]
90 Ix_adalt=e_anima*(h_biga/2-h_corr/2-
marge_corr)^3/12+A_adalt*dz_adalt^2; %[mm^4]
91 Ix_biga=Ix_ala+Ix_abaix+Ix_adalt; %[mm^4]
92
93 % Calcul del MÒDUL RESISTENT de la secció al punt G %
94 W_sup=Ix_biga/(h_biga-Z_cg); %[mm^3]
95 W_inf=Ix_biga/Z_cg; %[mm^3]
96

```

```

97 % Calcul de TENSIONS NORMALS per MOMENT FLECTOR a la secció T %
98 o_fx_sup= Mfx/W_sup; %[N/mm2] Tensió al limit superior de
COMPRESSIÓ
99 o_fx_inf=Mfx/W_inf; %[N/mm2] Tensió al limit inferior de TRACCIÓ
100
101 % Calcul de TENSIONS NORMALS per ESFORÇ AXIL a la secció T %
102 o_axil=Ax/(A_ala+A_abaix+A_adalt); %[N/mm2] Tensió igual a tota
la secció
103
104 % Calcul de la TENSIÓ DE VON MISSES a diferents punts de la
secció T %
105 o_VM_sup=sqrt((o_fx_sup+o_axil)^2+3*0^2); %[N/mm2]
106 o_VM_inf=sqrt((o_fx_inf-o_axil)^2+3*0^2); %[N/mm2] Si aquesta
tensió surt negativa
107 % la tensió en l'ala inferior serà compressió
108 o_VM_G=sqrt(o_axil^2+3*0^2); %[N/mm2]
109
110 O_max(i,j)=max([o_VM_G,o_VM_inf,o_VM_sup]); %[N/mm2] Tensió
màxima en la secció T
111
112 % Calcul de la FLETXA DE LA BIGA %
113 % Assumpció de que l'exerceix una força 2+RZ en el centre de la
biga biempotrada
114 FLETXA_tot(i,j)=2*RZ*long_mig^3/(192*E*Ix_biga); %[mm]
115
116 % Calcul de la TENSIÓ DE VON MISSES a l'ala dels braços %
117 ample_afectat=50; %[mm] ample afectat
118 Iy_ala=ample_afectat*e_ala^3/12; %[mm^4] Inèrcia trasversal de
l'ala
119 W_ala=Iy_ala/(e_ala/2); %[mm^3] Modul resistent de l'ala
120 Q_puntual=RZ/4; %[N] Força de connexio de la corredera
121 Mfx_ala=Q_puntual*(b_biga/2-20); %[Nmm] Moment flector a la
paret de l'anima
122 o_VM_ala(i,j)=Mfx_ala/W_ala; %[N/mm^2] Tensió als extrems sup i
inf de l'ala
123
124 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
125 % SELLECCIÓ DE ESPESSORS OPTIMS %
126 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
127
128 %Càlcul de la massa de la biga %
129 V_TOTAL=long_mig*(b_biga*e_ala)+ ...
130 long_mig*((h_biga-e_ala)*e_anima)-...
131 (rec+b_corr)*(h_corr+2*marge_corr)*2; %[mm3]
132 m_TOTAL=V_TOTAL*dens; %[kg]
133
134 t=1;
135
136 if(O_max(i,j)>O_adm) t=0;
137 elseif(FLETXA_tot(i,j)>f_adm) t=0;
138 elseif(o_VM_ala(i,j)>O_adm) t=0;
139 endif
140
141 if(t==1)
142 OPT_PESBIGA_ok(i,j)=m_TOTAL;
143 elseif(t==0)
144 OPT_PESBIGA_no(i,j)=m_TOTAL;
145 endif
146
147 if(OPT_PESBIGA_ok(i,j)!=0)
148 if(OPT_PESBIGA_ok(i,j)<opt_pes)

```



```

149 opt_pes=OPT_PESBIGA_ok(i,j);
150 opt_e_ala=e_ala;
151 opt_e_anima=e_anima;
152 endif
153 endif
154
155 endfor
156 endfor
157
158
159 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
160 %% SORTIDA PER PANTALLA DE GRÀFIQUES %%
161 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
162
163 [XAPES1,XAPES2]=meshgrid(e_xapes,e_xapes);
164
165 if(graf(8)==1)
166
167 w =[0:5:O_adm];
168 W = w';
169
170 contour(XAPES1,XAPES2,O_max,W,'ShowText','On','linewidth',2)
171
172 title('TENSIÓ MÀXIMA SUPORTADA EN ARTICULACIÓ A - REQRIMENT A')
173 xlabel('GRUIX DE L''ALA [mm]')
174 ylabel('GRUIX DE L''ÀNIMA [mm]')
175
176 elseif(graf(8)==2)
177
178 w =[1:1:f_adm];
179 W = w';
180
181
182 contour(XAPES1,XAPES2,FLETXA_tot,W,'ShowText','On','linewidth',2)
183
184 title('FLETXA MÀXIMA A LES BIGUES CENTRALS SEGONS GRUIXOS -
185 REQRIMENT A')
186
187 xlabel('GRUIX DE L''ALA [mm]')
188 ylabel('GRUIX DE L''ÀNIMA [mm]')
189
190 elseif(graf(8)==3)
191
192 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,19),'c')
193 hold on
194 bar(OPT_PESBIGA_no(:,19),'y')
195 hold on
196 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,18),'c')
197 hold on
198 bar(OPT_PESBIGA_no(:,18),'y')
199 hold on
200 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,17),'c')
201 hold on
202 bar(OPT_PESBIGA_no(:,17),'y')
203 hold on
204 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,16),'c')
205 hold on
206 bar(OPT_PESBIGA_no(:,16),'y')
207 hold on
208 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,15),'c')
209 hold on
210 bar(OPT_PESBIGA_no(:,15),'y')

```

```

208 hold on
209 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,14), 'c')
210 hold on
211 bar(OPT_PESBIGA_no(:,14), 'y')
212 hold on
213 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,13), 'c')
214 hold on
215 bar(OPT_PESBIGA_no(:,13), 'y')
216 hold on
217 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,12), 'c')
218 hold on
219 bar(OPT_PESBIGA_no(:,12), 'y')
220 hold on
221 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,11), 'c')
222 hold on
223 bar(OPT_PESBIGA_no(:,11), 'y')
224 hold on
225 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,10), 'c')
226 hold on
227 bar(OPT_PESBIGA_no(:,10), 'y')
228 hold on
229 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,9), 'c')
230 hold on
231 bar(OPT_PESBIGA_no(:,9), 'y')
232 hold on
233 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,8), 'c')
234 hold on
235 bar(OPT_PESBIGA_no(:,8), 'y')
236 hold on
237 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,7), 'c')
238 hold on
239 bar(OPT_PESBIGA_no(:,7), 'y')
240 hold on
241 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,6), 'c')
242 hold on
243 bar(OPT_PESBIGA_no(:,6), 'y')
244 hold on
245 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,5), 'c')
246 hold on
247 bar(OPT_PESBIGA_no(:,5), 'y')
248 hold on
249 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,4), 'c')
250 hold on
251 bar(OPT_PESBIGA_no(:,4), 'y')
252 hold on
253 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,3), 'c')
254 hold on
255 bar(OPT_PESBIGA_no(:,3), 'y')
256 hold on
257 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,2), 'c')
258 hold on
259 bar(OPT_PESBIGA_no(:,2), 'y')
260 hold on
261 bar(OPT_PESBIGA_ok(:,1), 'c')
262 hold on
263 bar(OPT_PESBIGA_no(:,1), 'y')
264 hold on
265
266
267 set(gca, 'XTickLabel', e_xapes);
268

```

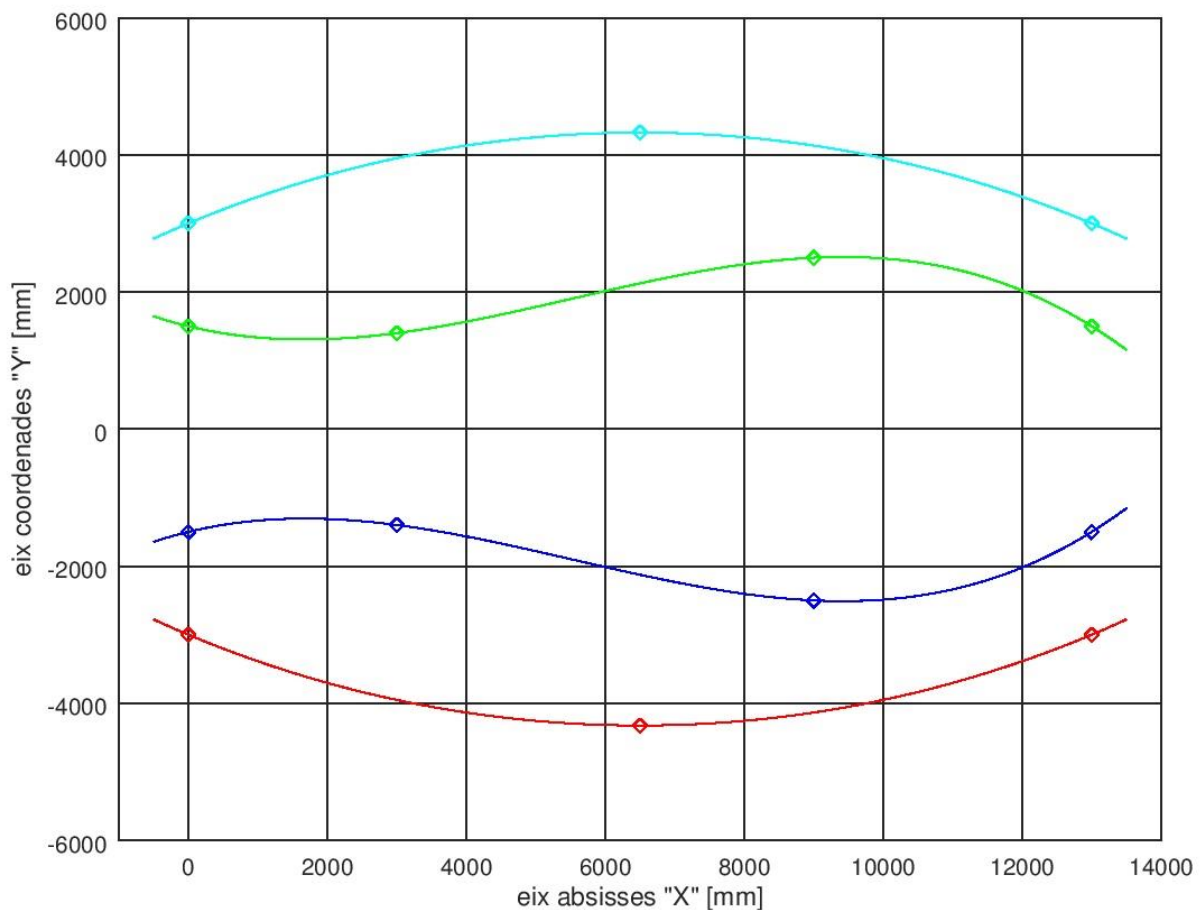
```
269 title('OPTIMITZACIO DEL PES DE LES BIGUES CENTRALS SEGONS GRUIX  
DE L''ANIMA I L''ALA')  
270 xlabel('GRUIX DE L''ALA [mm] - Mateixos gruixos de l''anima en  
profunditat')  
271 ylabel('PES DE LES BIGUES CENTRALS [kg]')  
272 legend('compleix totes les comprovacions','NO compleix totes les  
comprovacions')  
273  
274 endif  
275  
276  
277 endfunction
```

8.2 TANTEJOS GEOMÈTRICS EN LA DEFINICIÓ DE SUPERFÍCIES

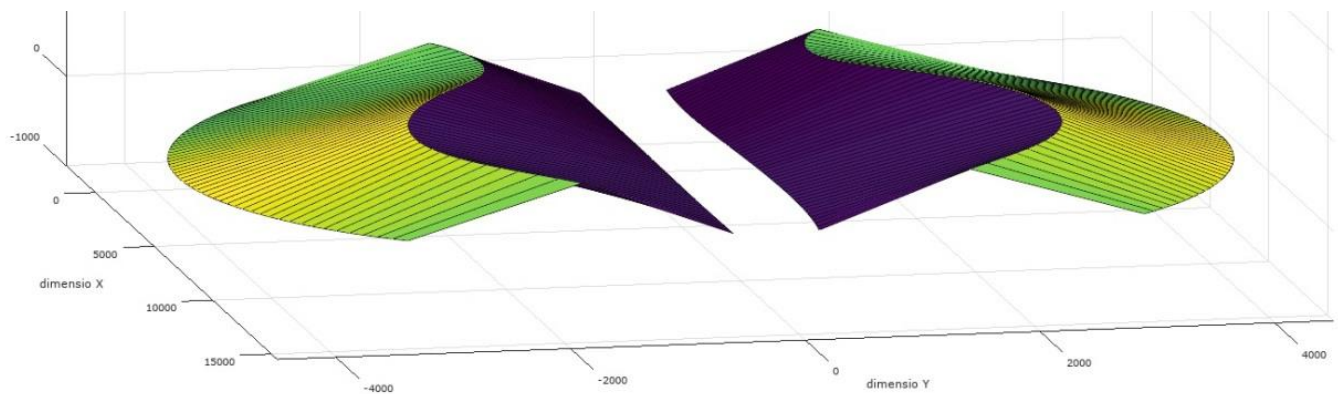
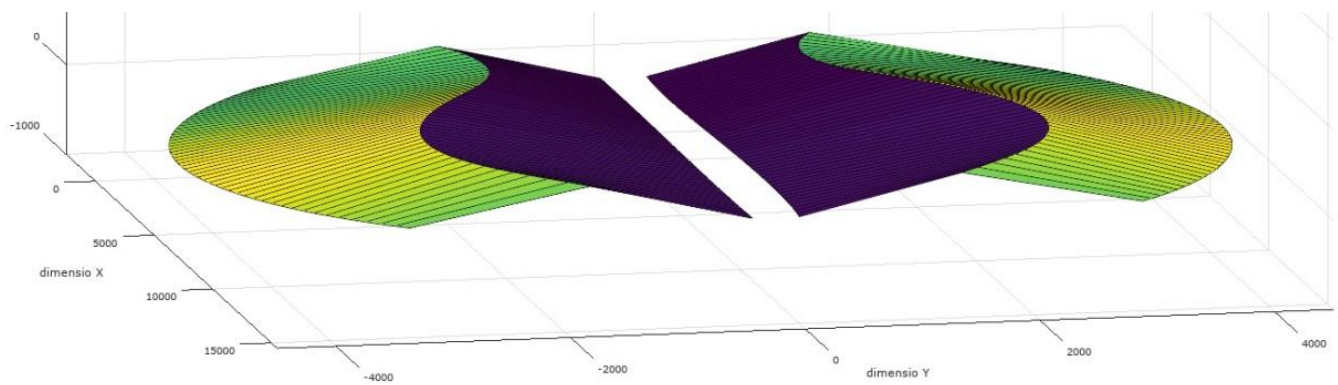
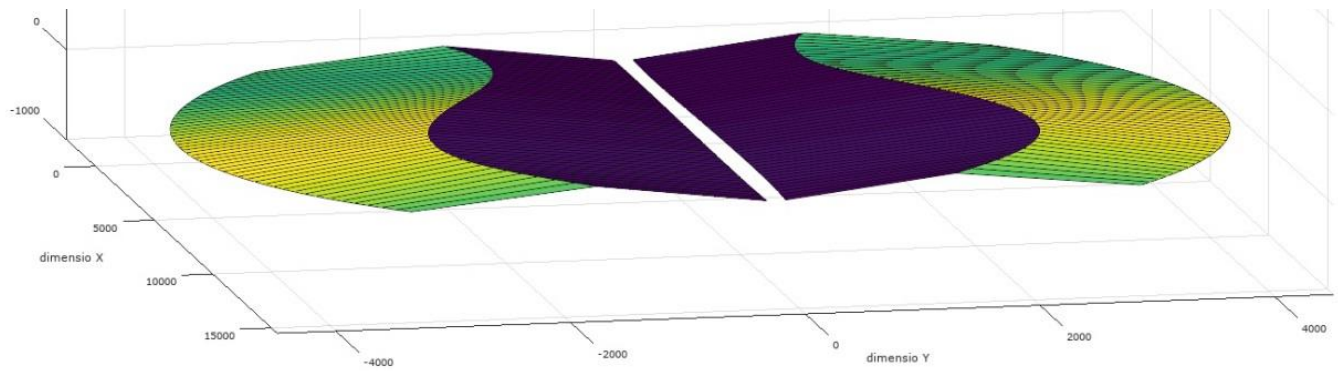
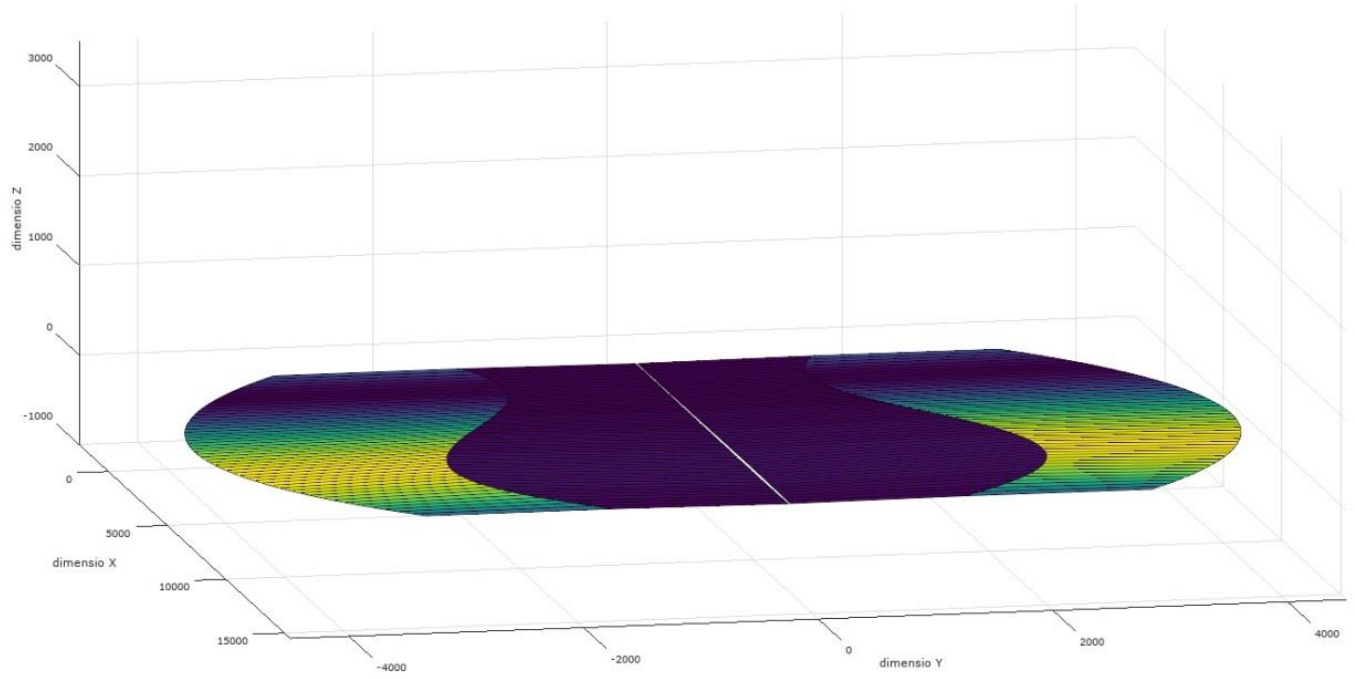
8.2.1 OPCIÓ 1

```
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %  
  
long_tot=13000;    %[mm] Longitud "x" de la intervenció  
ext1=3000;        %[mm] Distància "y" (veure esquema)  
ext2=1325;        %[mm] Distància "y" (veure esquema)  
  
R=[0,1500;3000,1400;9000,2500;13000,1500];  
    %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)  
S=[0,-1500;3000,-1400;9000,-2500;13000,-1500];  
    %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)  
  
Az=150;           %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)  
Cz=285;           %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)  
Cy=100;           %[mm] Voladis articulacions C (veure esquema)  
d=90;             %[mm] Voladis articulacions C (veure esquema)  
  
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %  
  
ample=250;        %[mm] Ample dels braços  
rec=1500;          %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
```

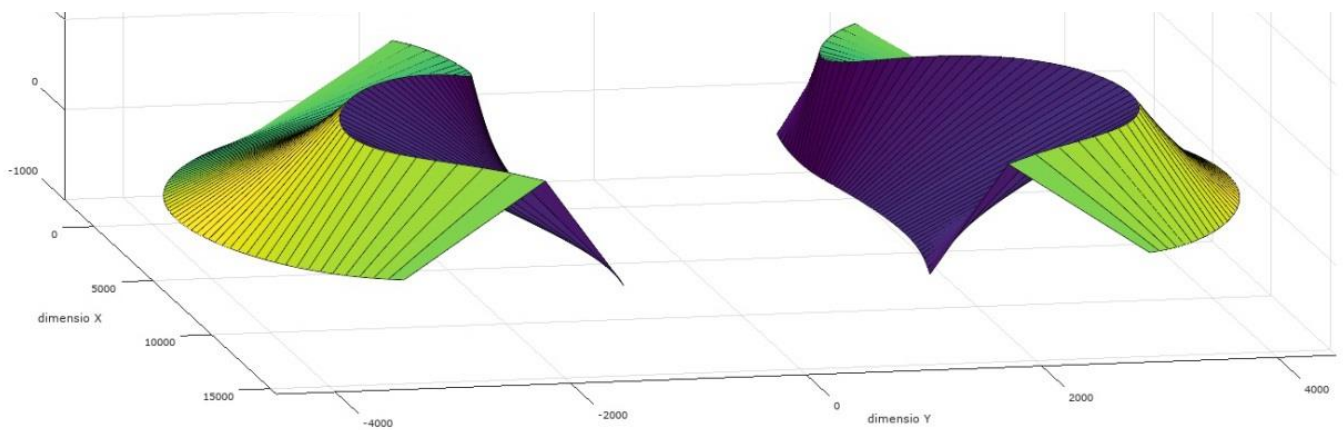
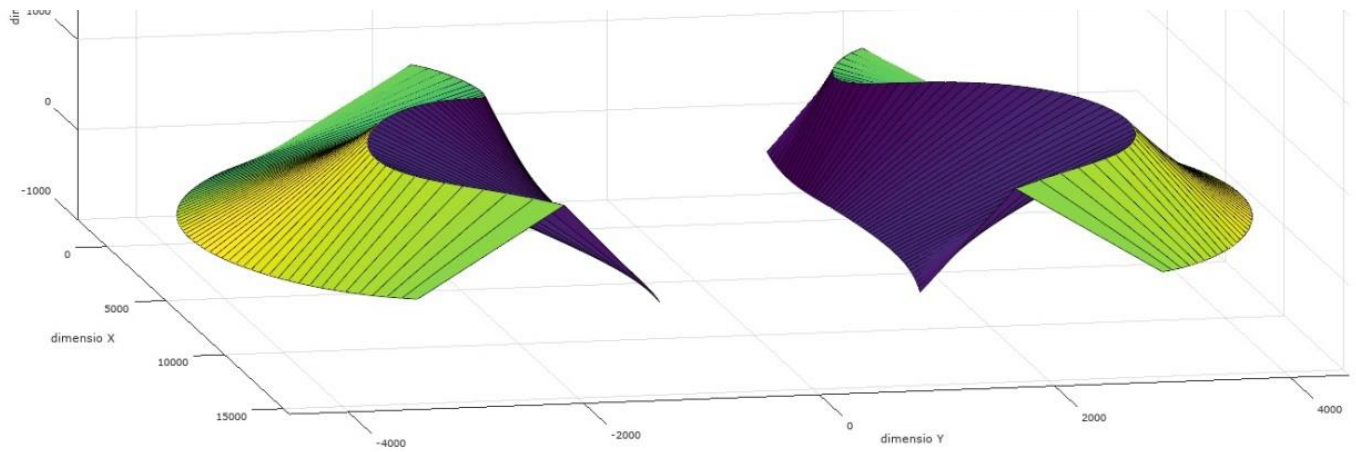
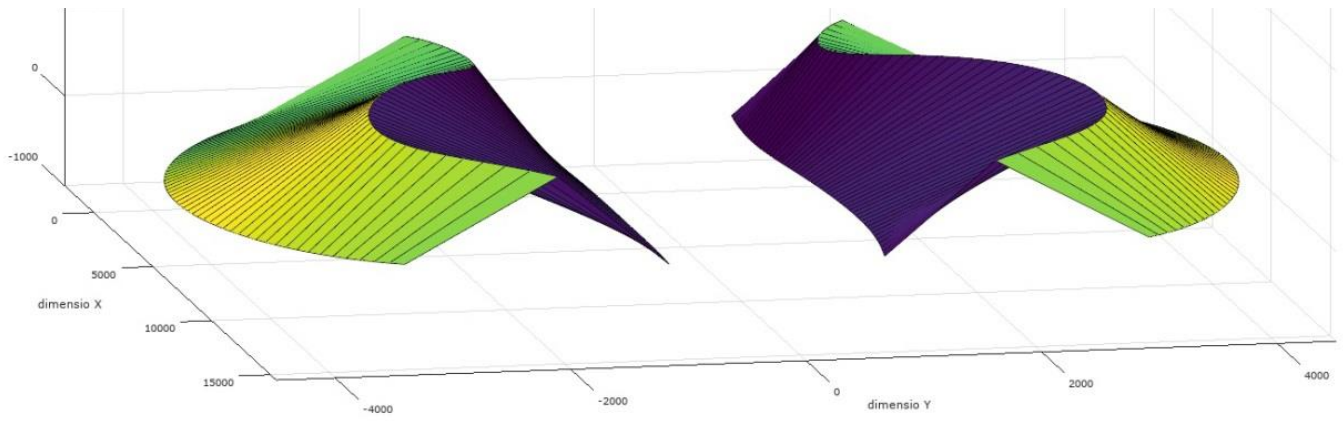
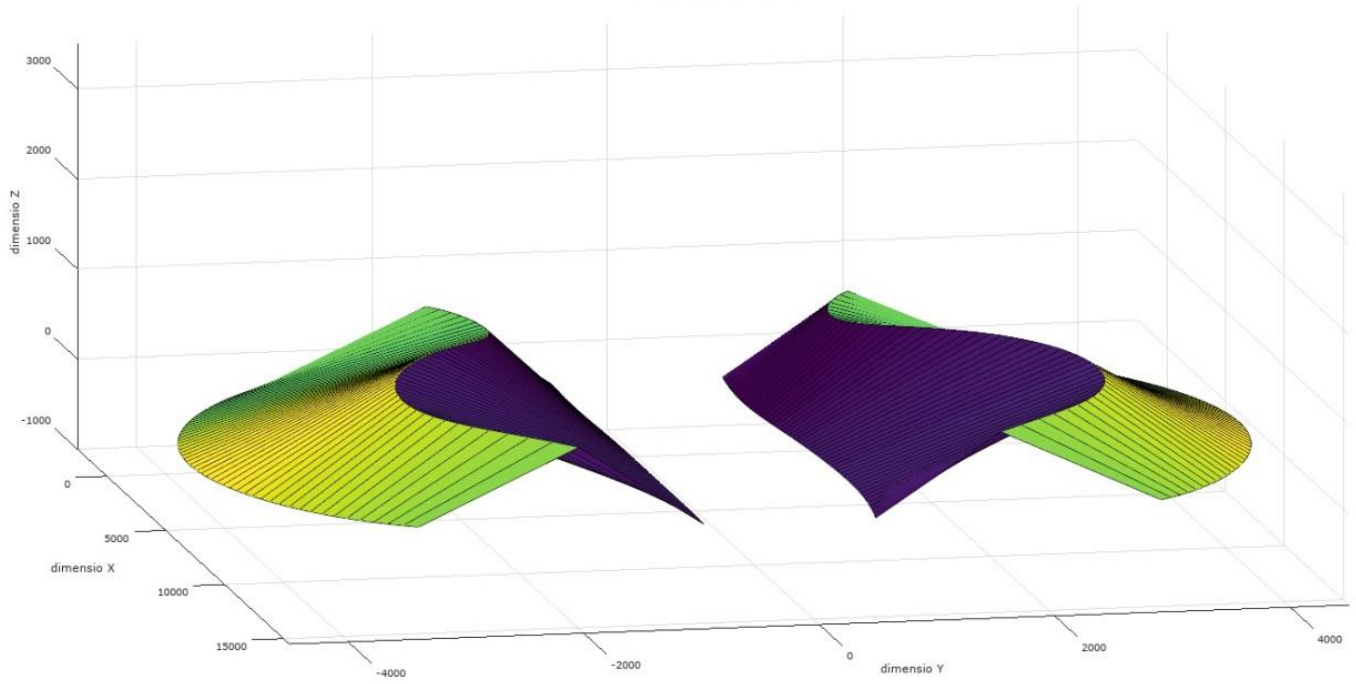
CORBES DELIMITADORES DE LES ARTICULACIONS



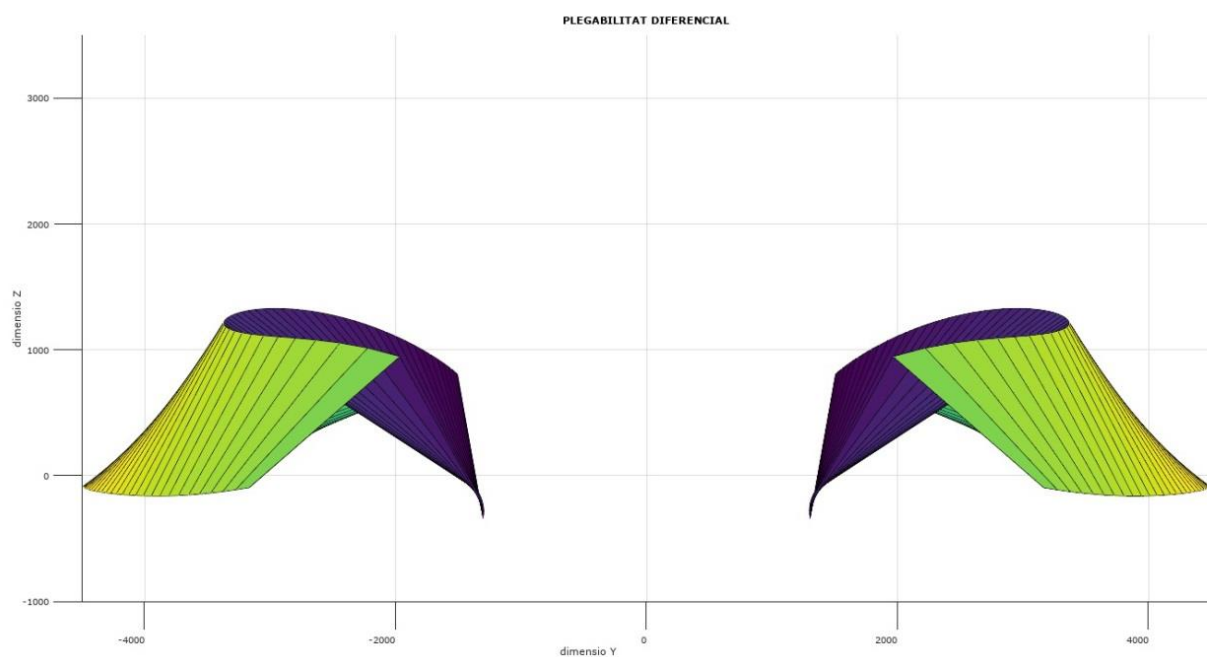
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



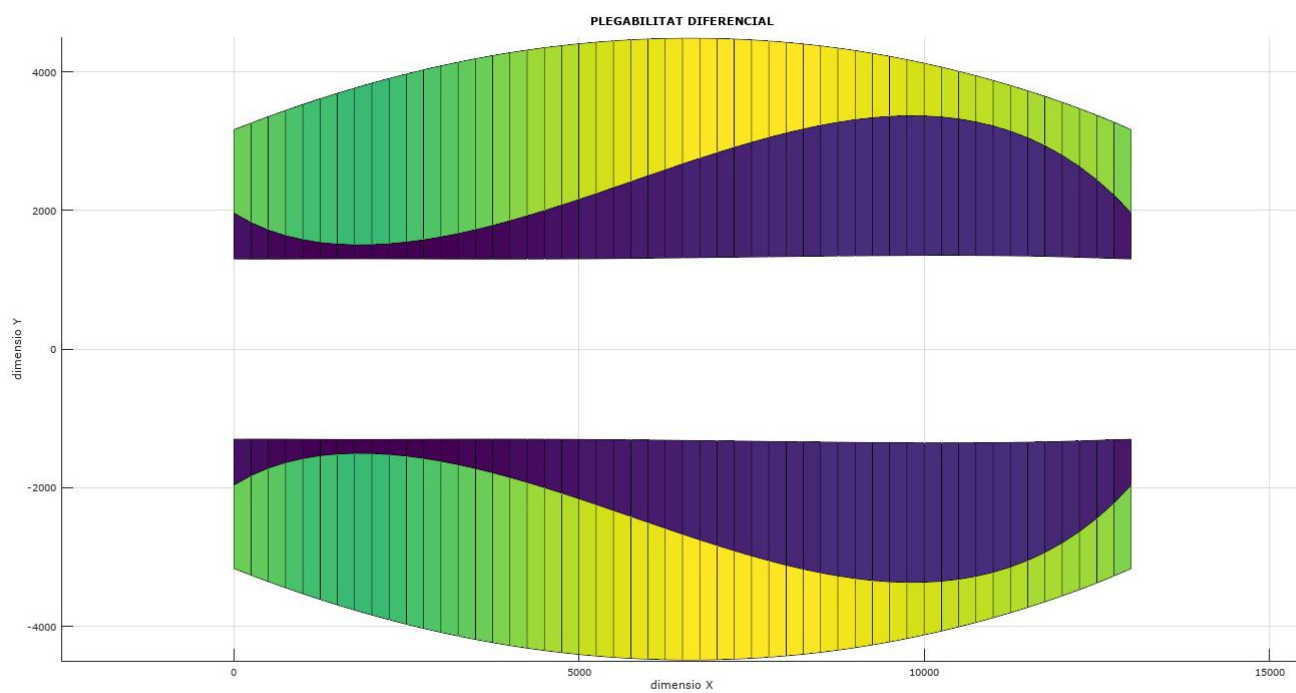
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



VISTA EN PERFIL DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



VISTA EN PLANTA DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



8.2.2 OPCIÓ 2

% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %

```
long_tot=13000;    %[mm] Longitud "x" de la intervenció  
ext1=3000;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)  
ext2=1325;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)
```

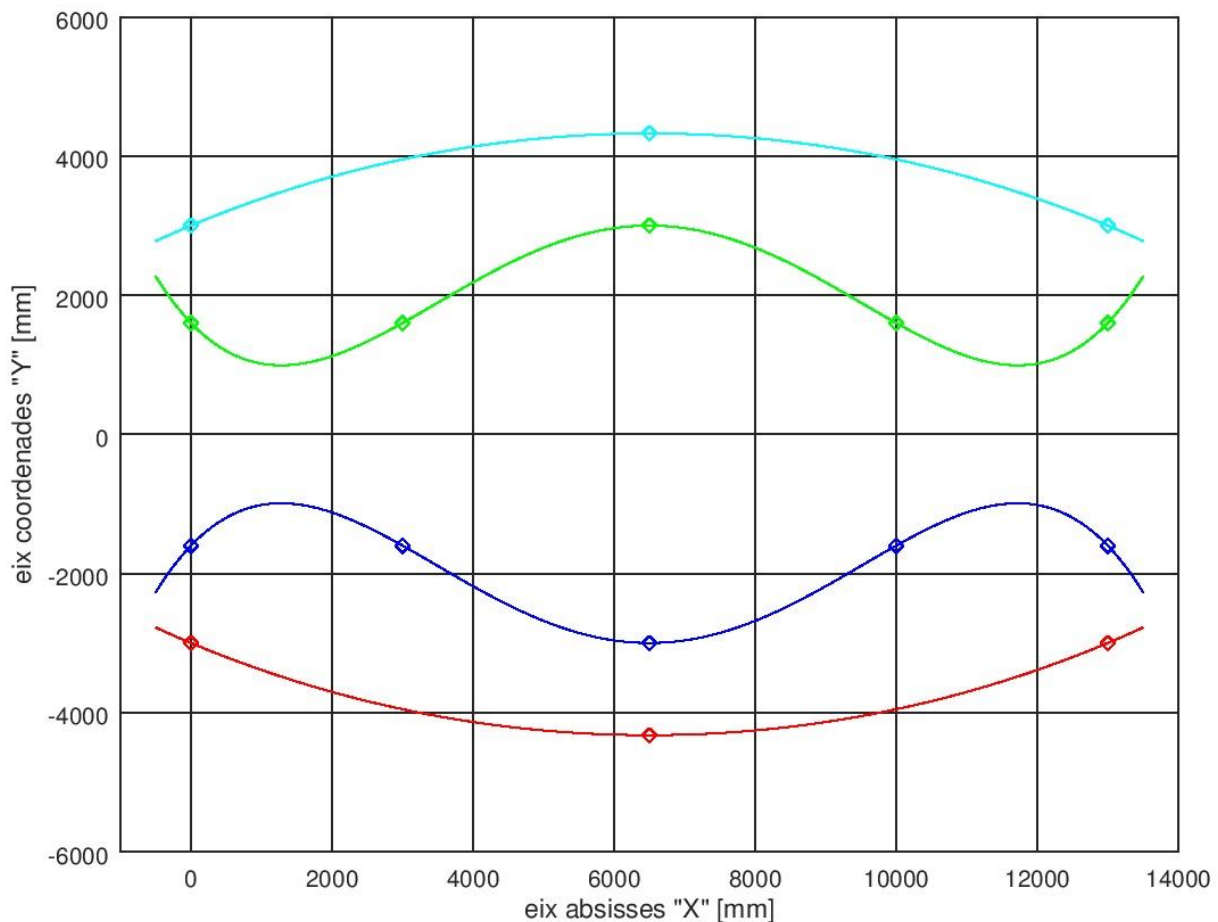
```
R=[0,1600;3000,1600;6500,3000;10000,1600;13000,1600];  
    %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)  
S=[0,-1600;3000,-1600;6500,-3000;10000,-1600;13000,-1600];  
    %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)
```

```
Az=150;           %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)  
Cz=285;           %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)  
Cy=100;           %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)  
d=90;             %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
```

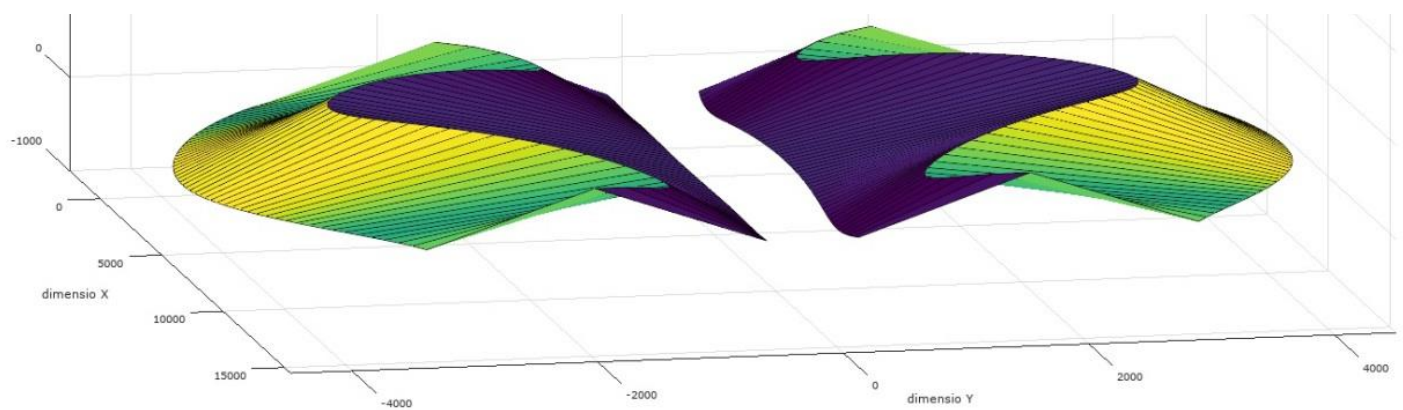
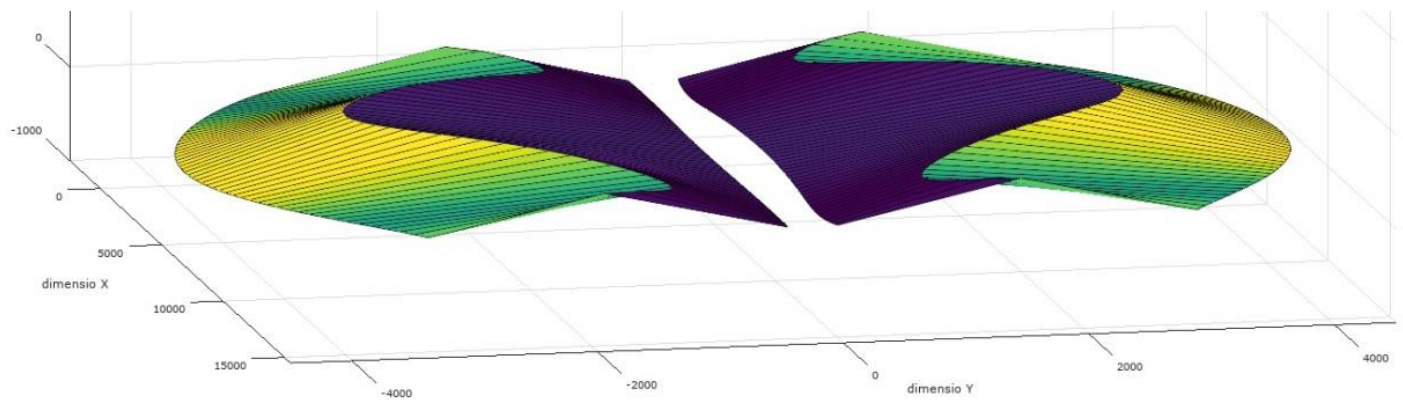
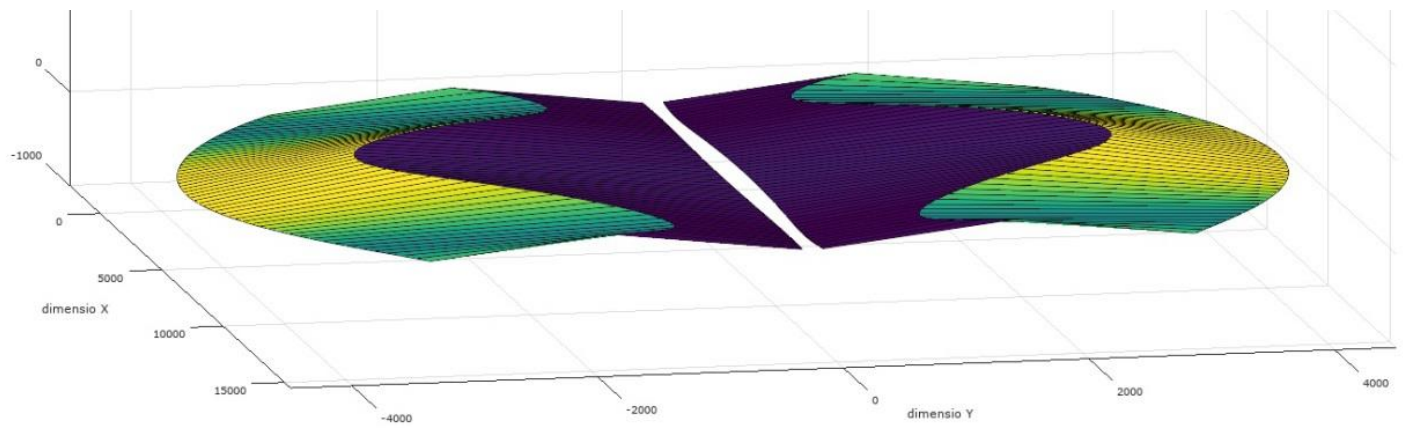
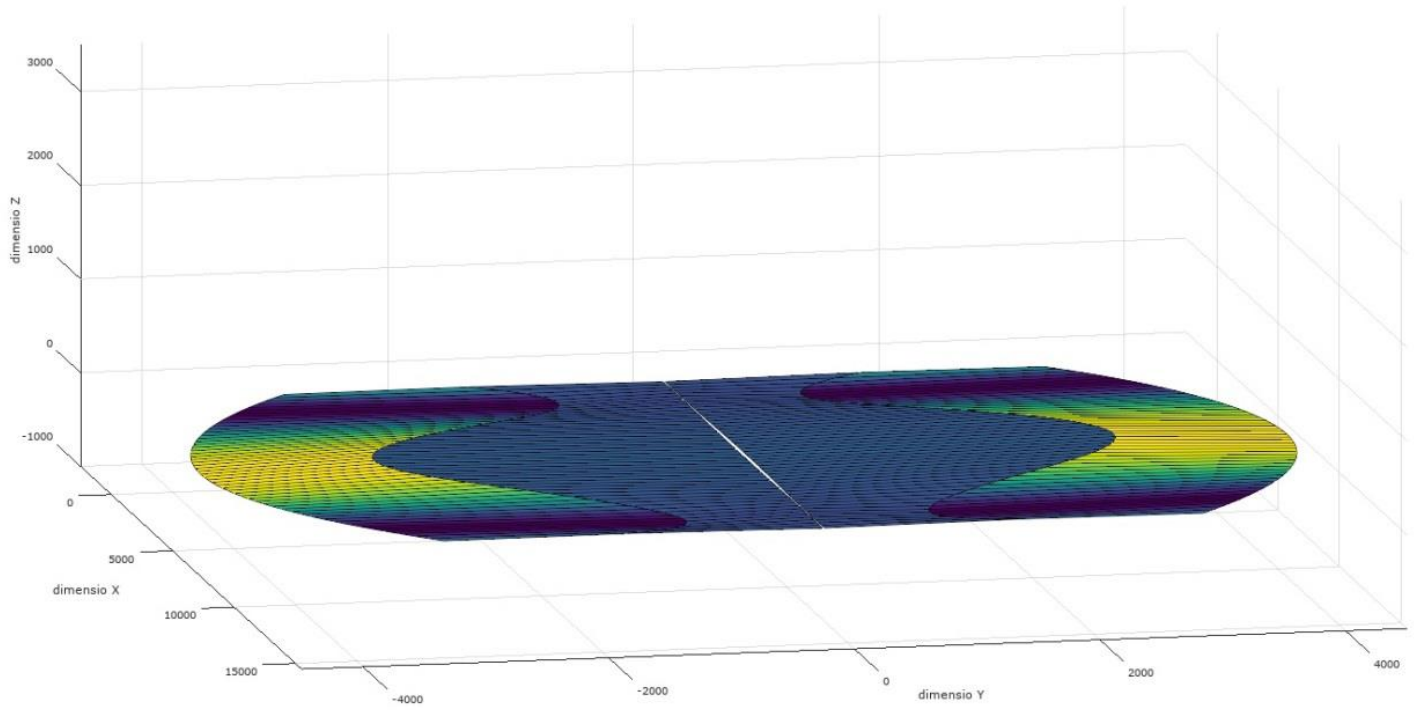
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %

```
ample=250;        %[mm] Ample dels braços  
rec=1500;          %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
```

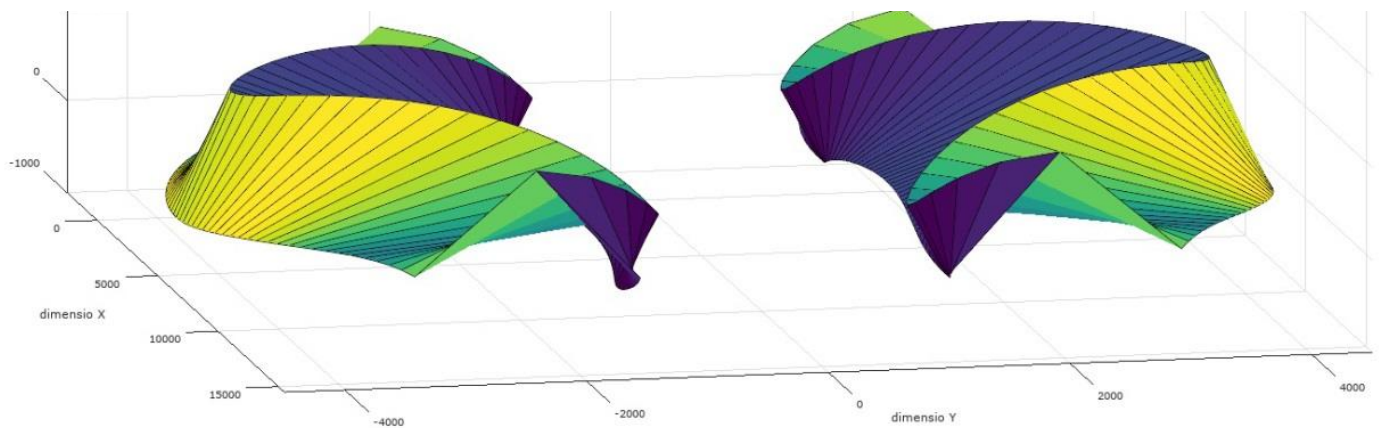
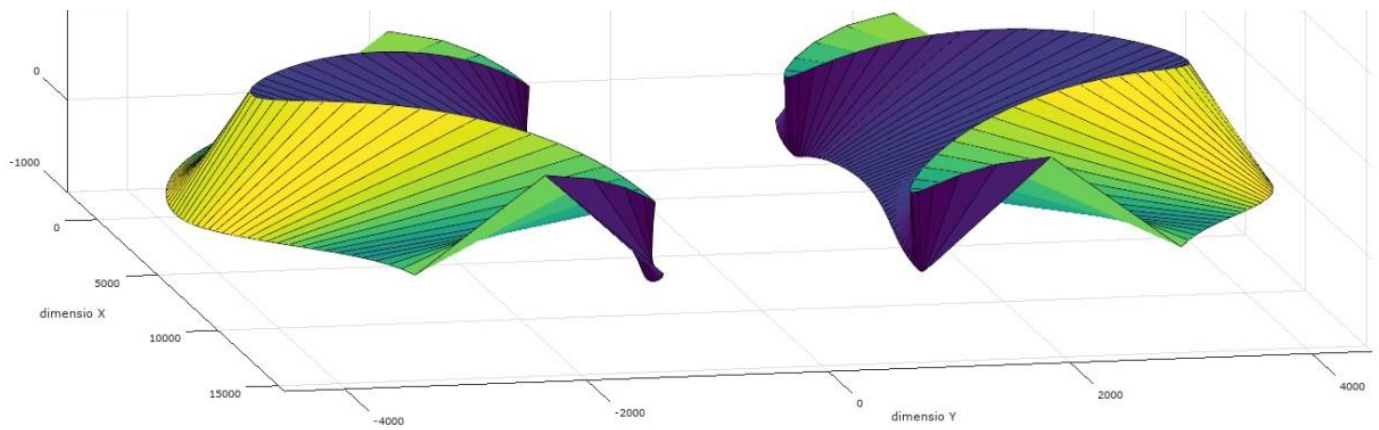
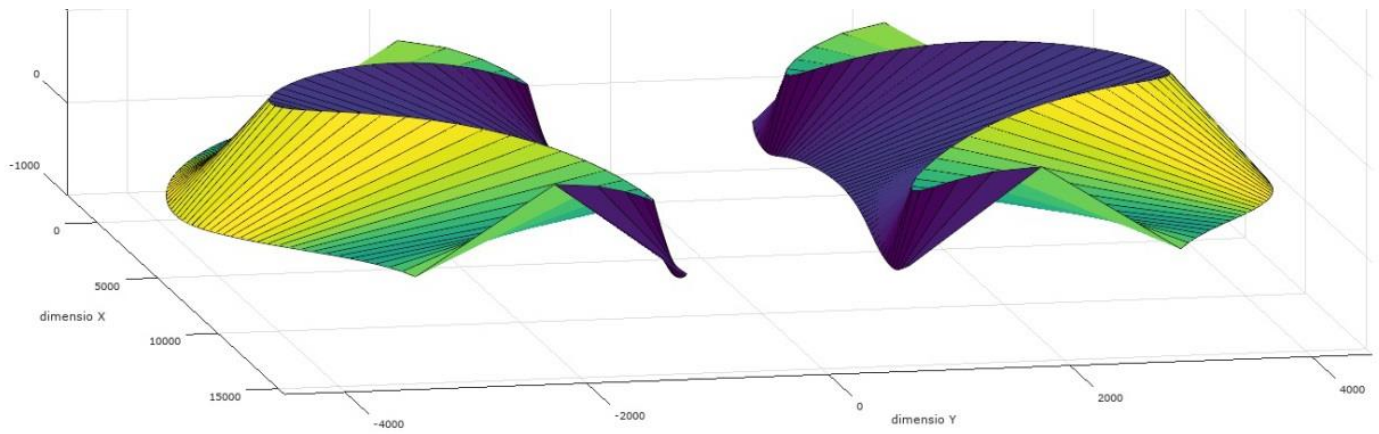
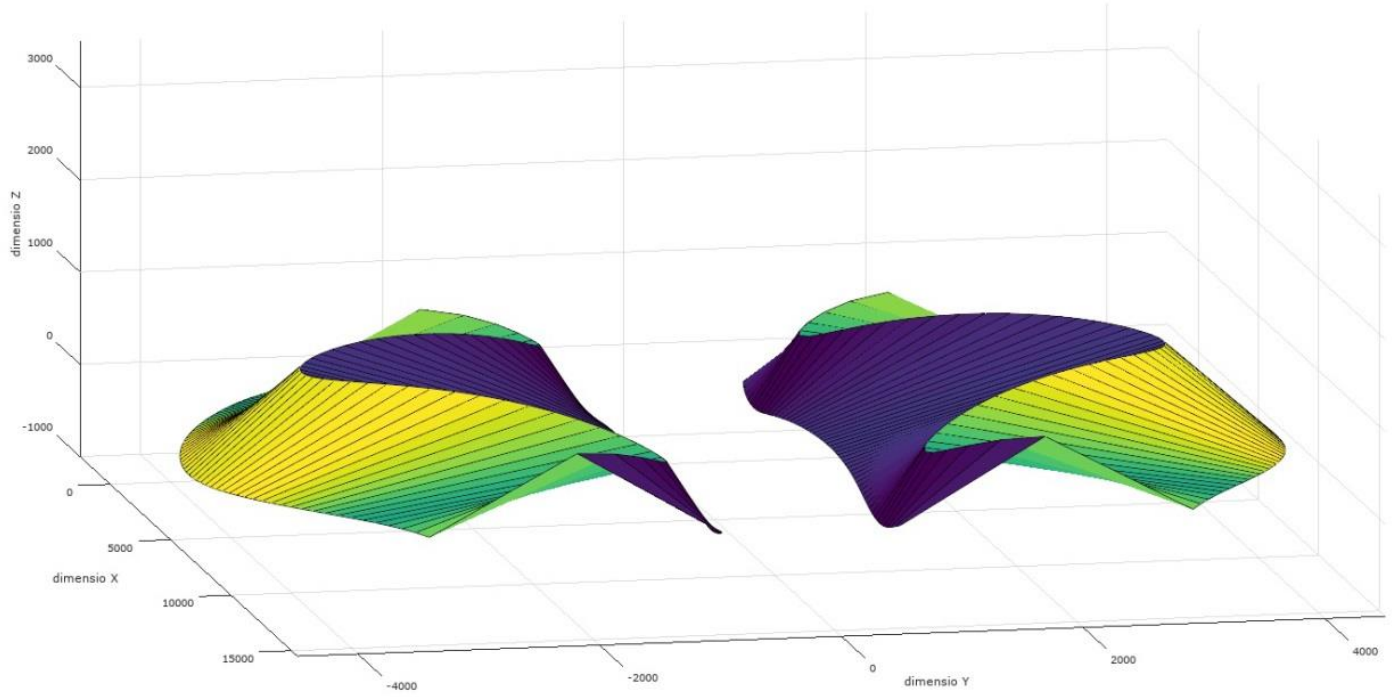
CORBES DELIMITADORES DE LES ARTICULACIONS



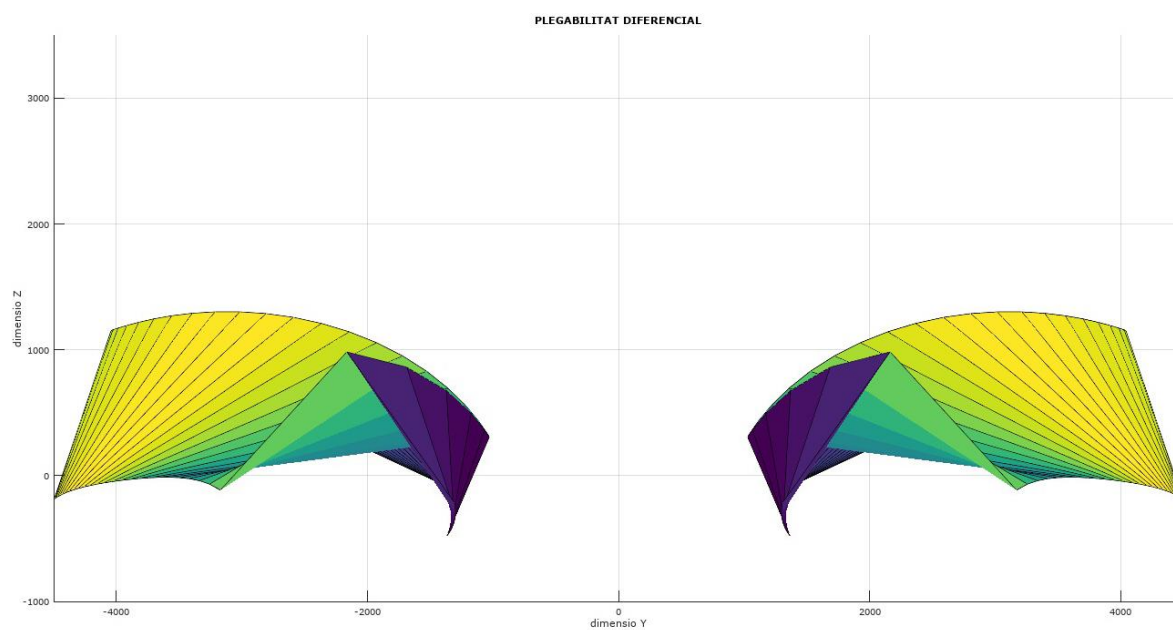
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



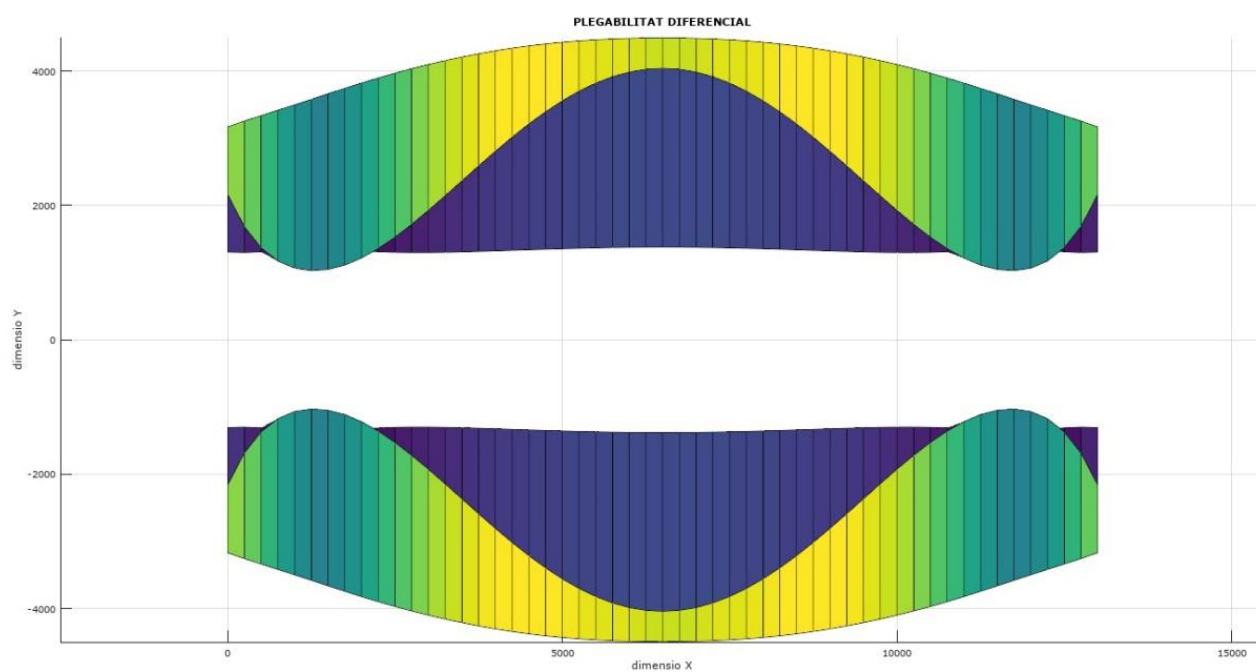
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



VISTA EN PERFIL DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:

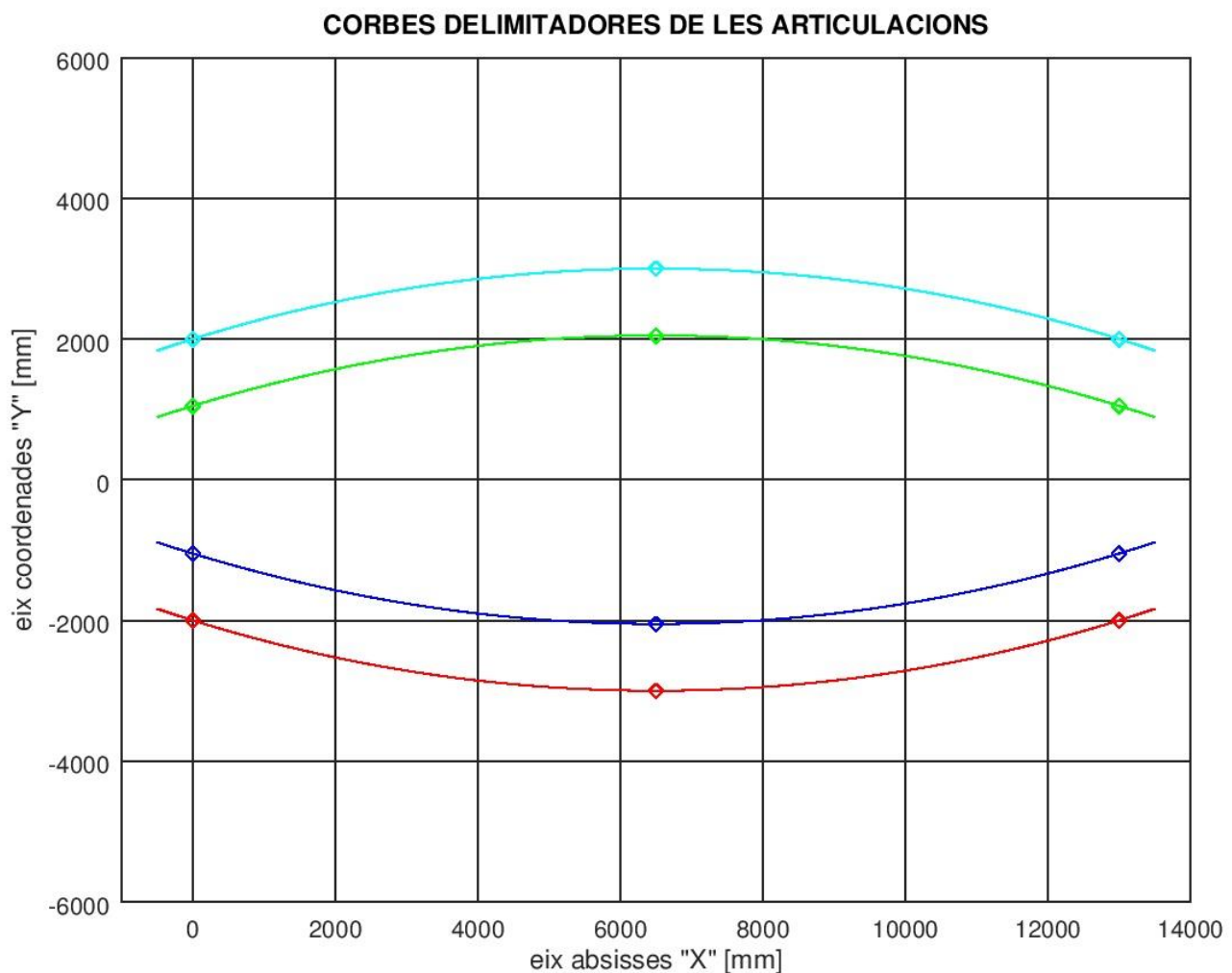


VISTA EN PLANTA DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:

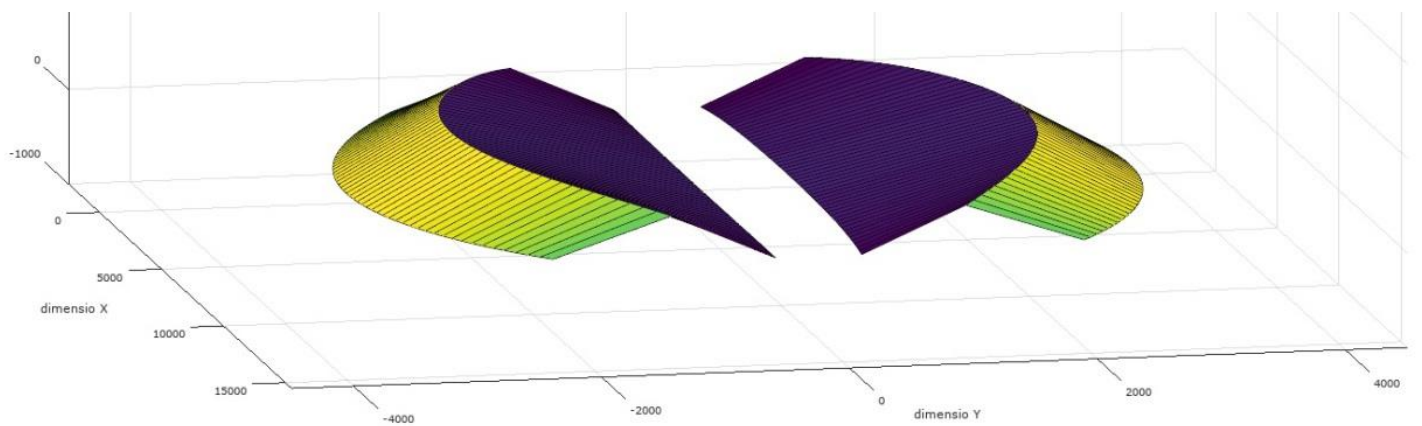
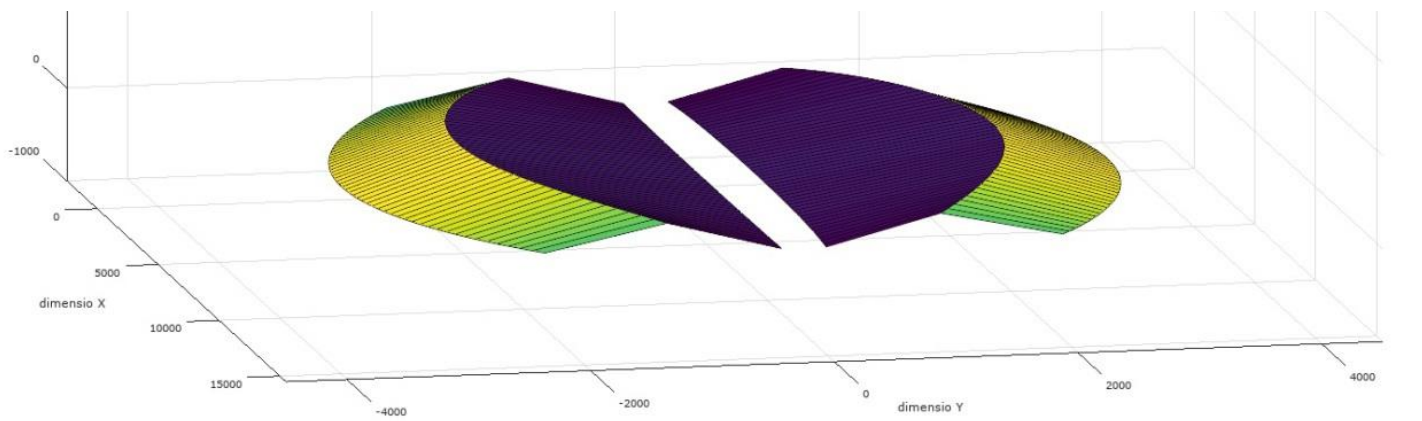
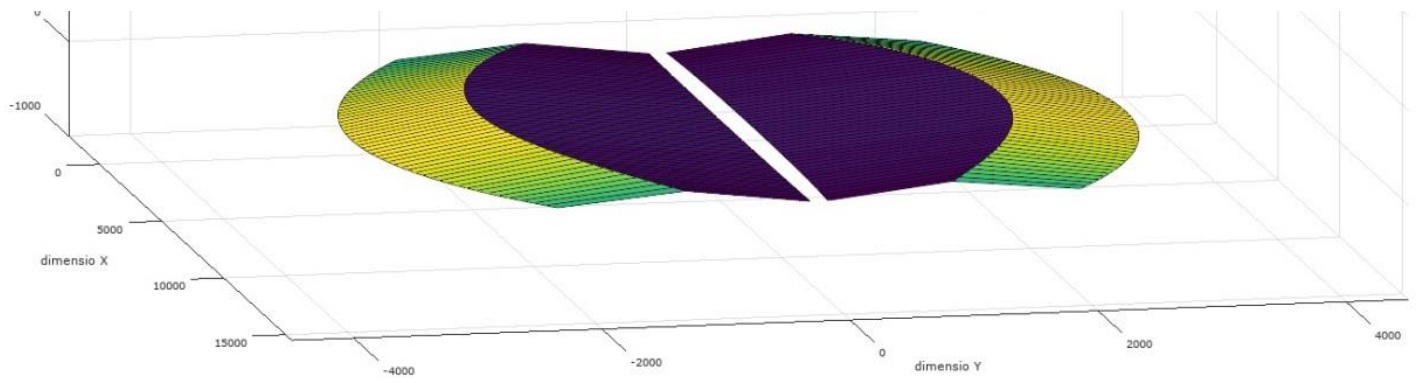
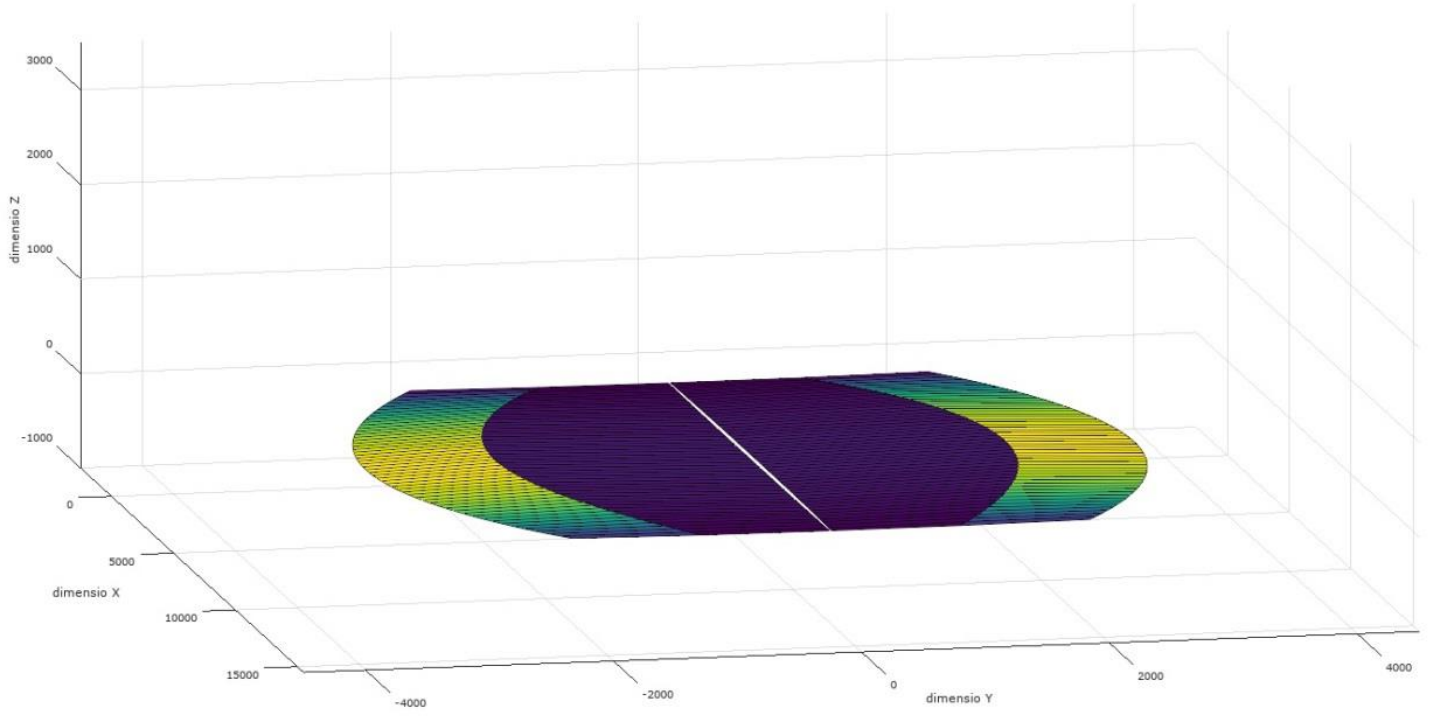


8.2.3 OPCIÓ 3

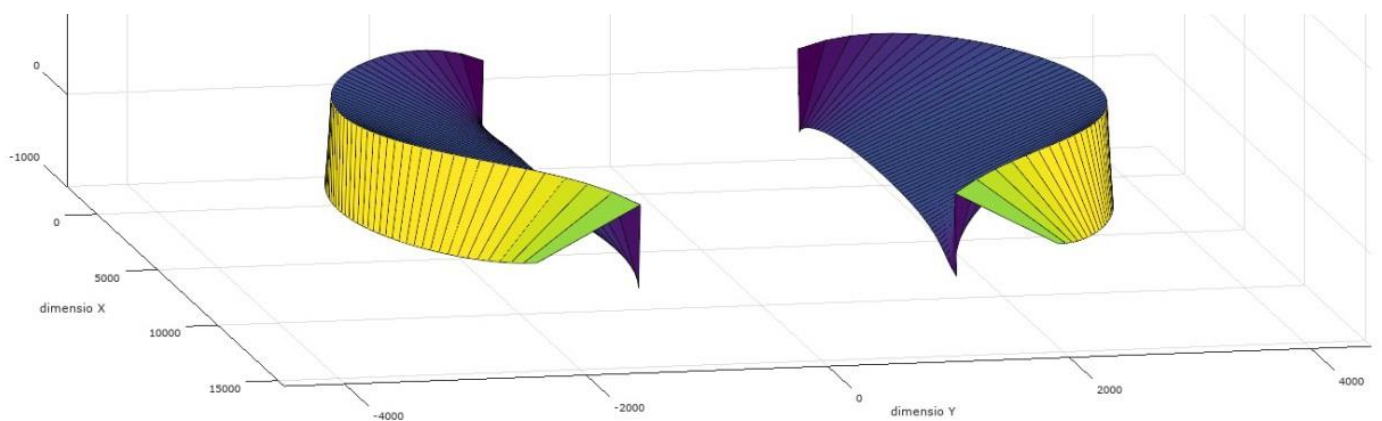
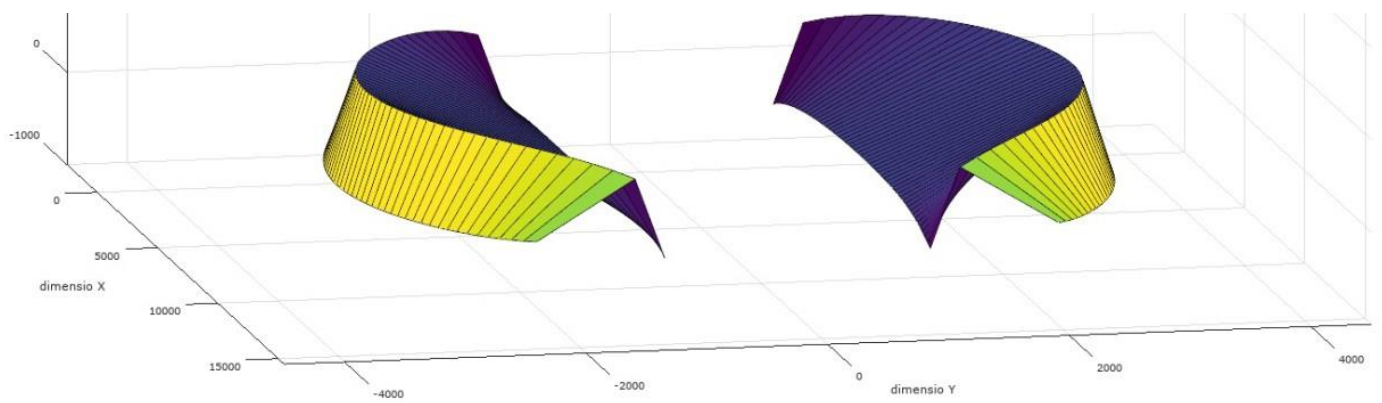
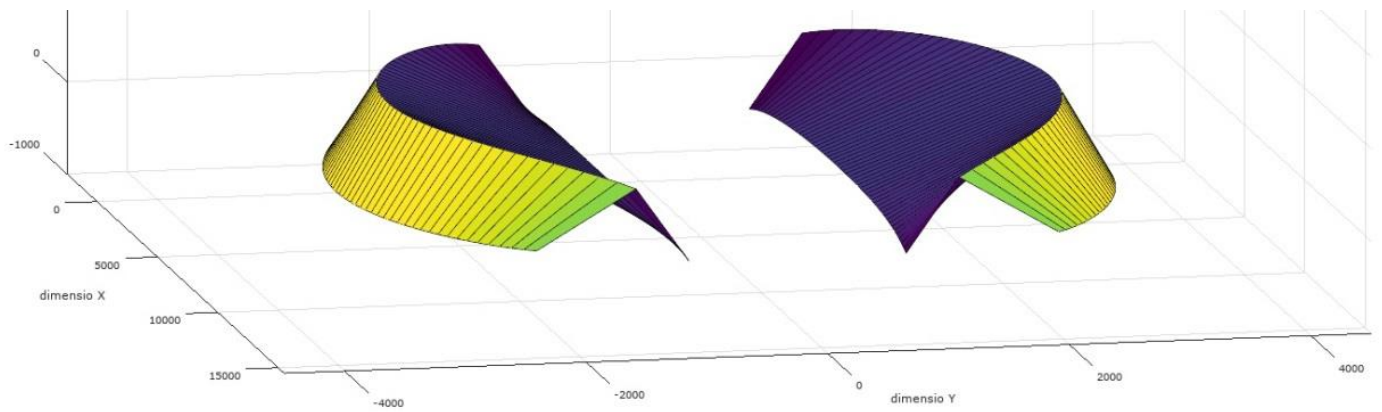
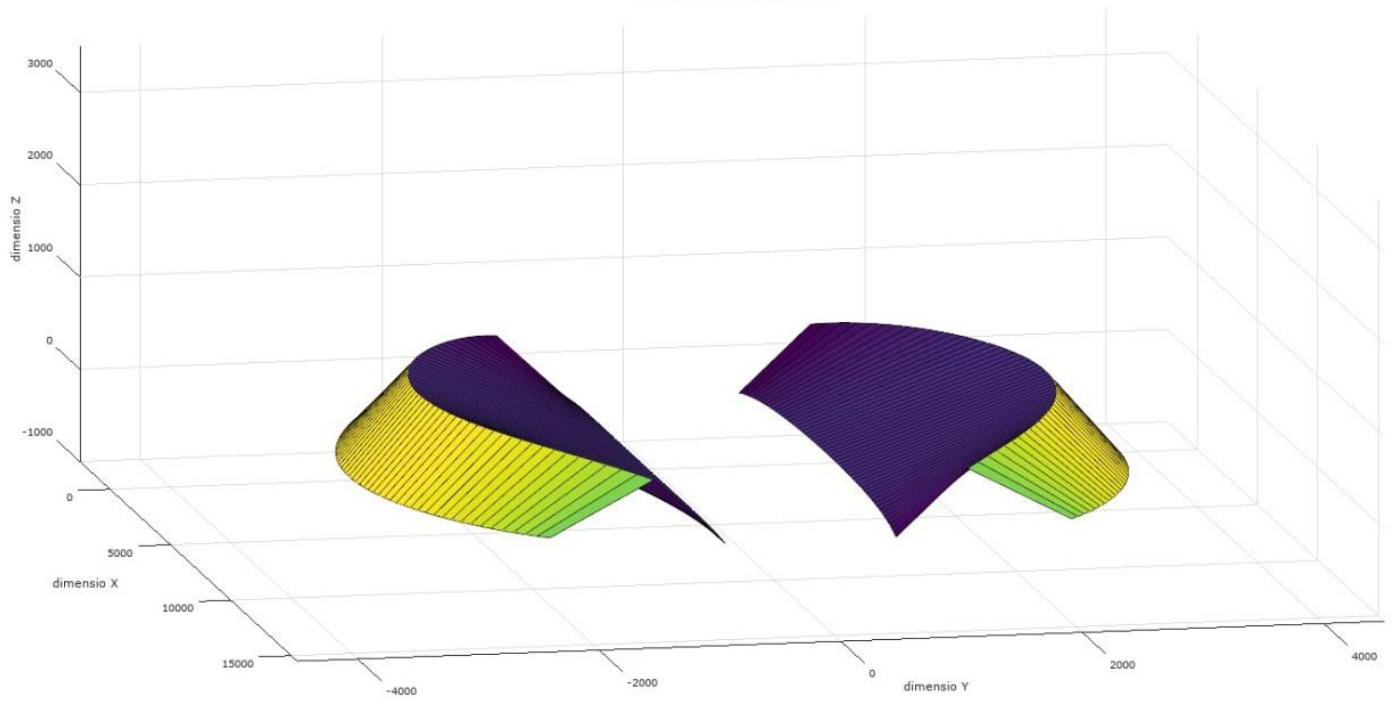
```
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %  
  
long_tot=13000;    %[mm] Longitud "x" de la intervenció  
ext1=2000;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)  
ext2=1000;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)  
  
R=[0,1050;6500,2050;13000,1050];  
    %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)  
S=[0,-1050;6500,-2050;13000,-1050];  
    %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)  
  
Az=150;           %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)  
Cz=285;           %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)  
Cy=100;           %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)  
d=90;             %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)  
  
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %  
  
ample=250;        %[mm] Ample dels braços  
rec=1500;          %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
```



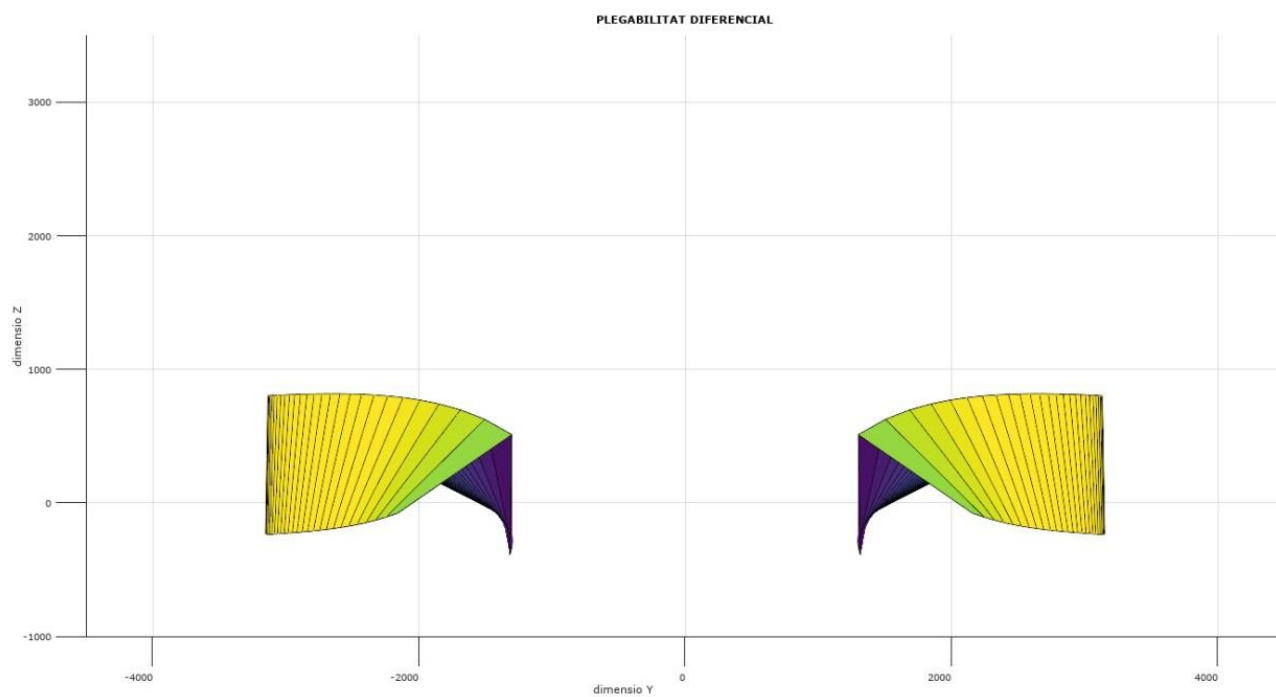
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



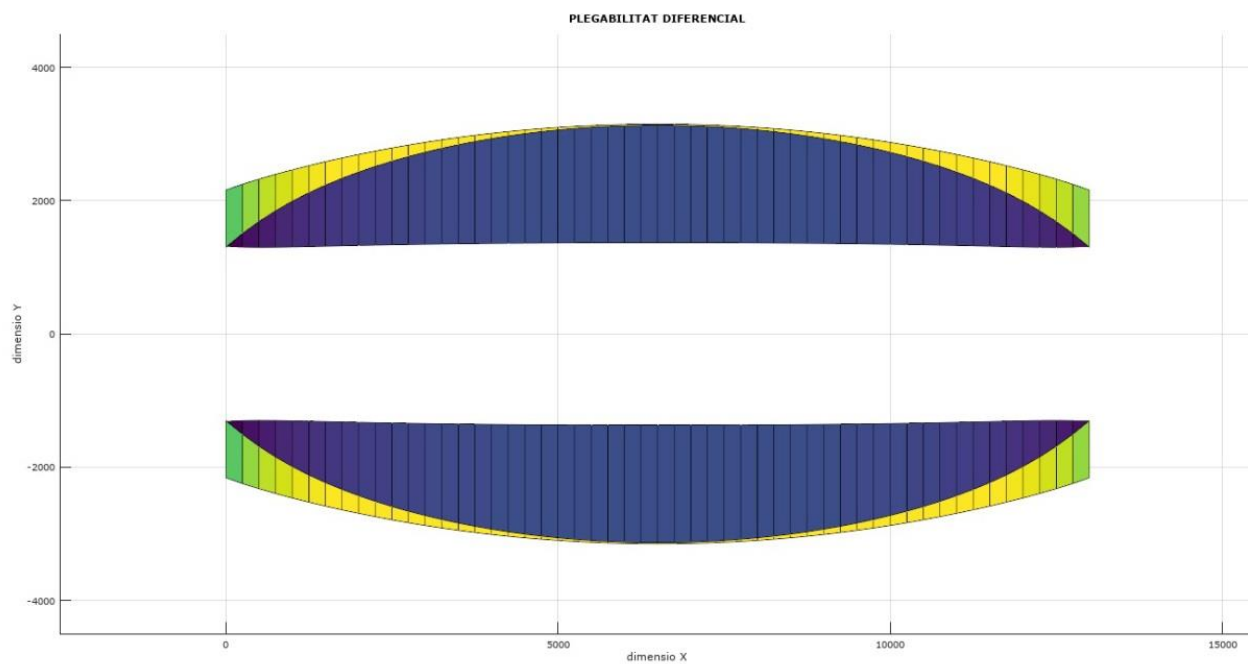
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



VISTA EN PERFIL DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



VISTA EN PLANTA DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



8.2.4 OPCIÓ 4

```
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %

long_tot=13000;    %[mm] Longitud "x" de la intervenció
ext1=3000;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)
ext2=1325;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)

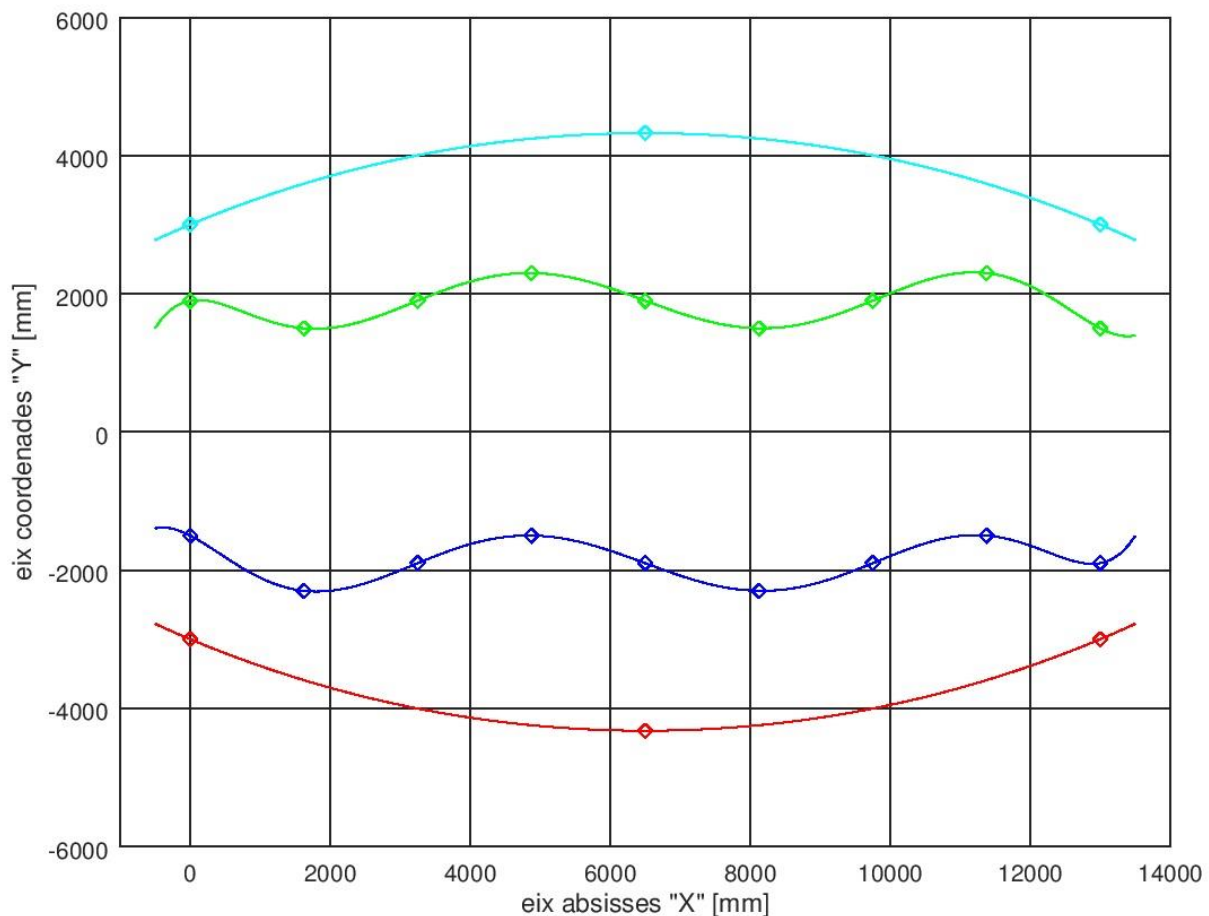
R=[0,1900;1625,1500;3250,1900;4875,2300;6500,1900;8125,1500;9750,1900;11375,2300;13000,1500];
    %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)
S=[0,-1500;1625,-2300;3250,-1900;4875,-1500;6500,-1900;8125,-2300;9750,-1900;11375,-1500;13000,-1900];
    %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)

Az=150;           %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)
Cz=285;           %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)
Cy=100;           %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
d=90;             %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)

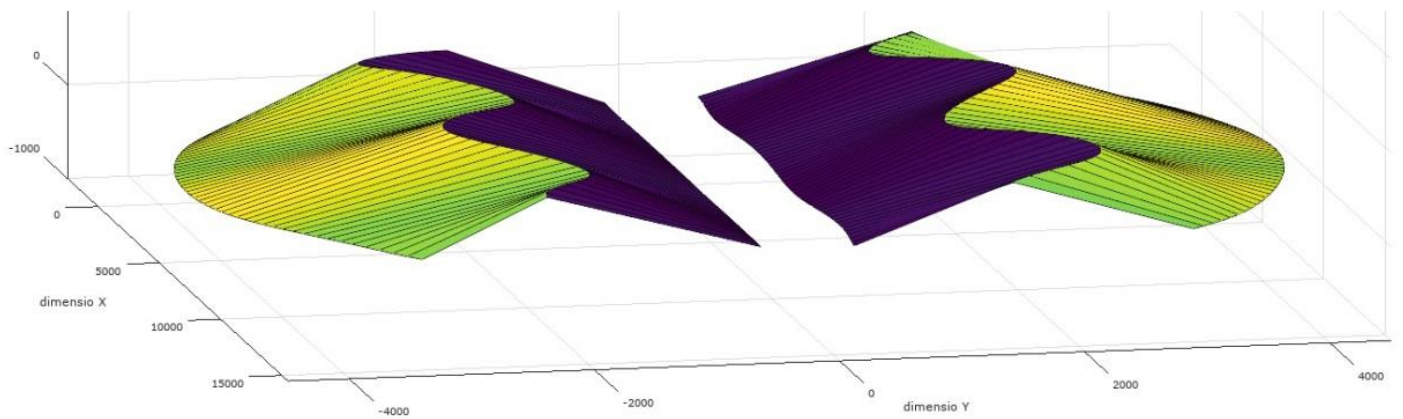
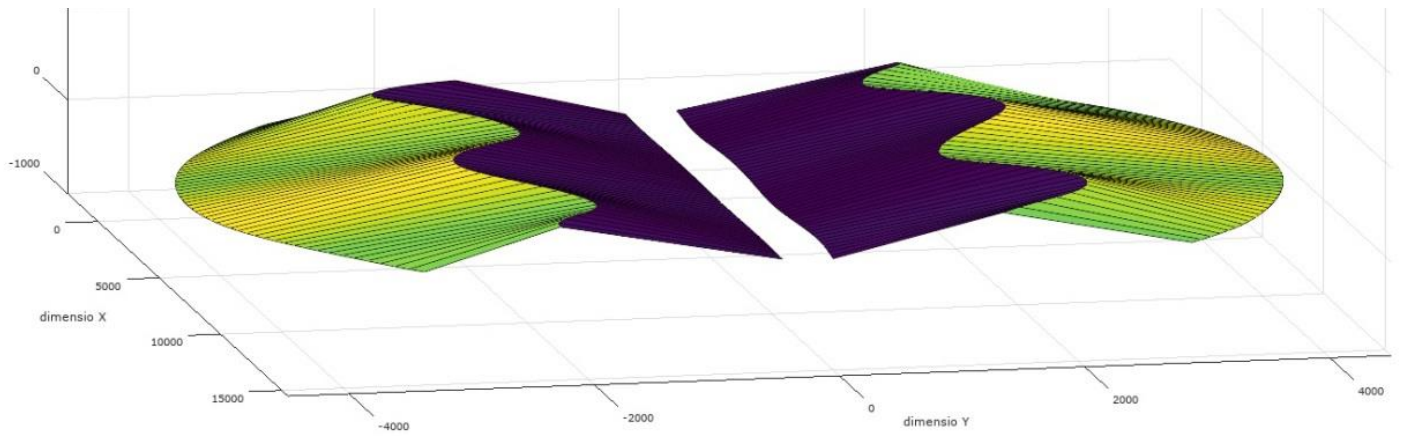
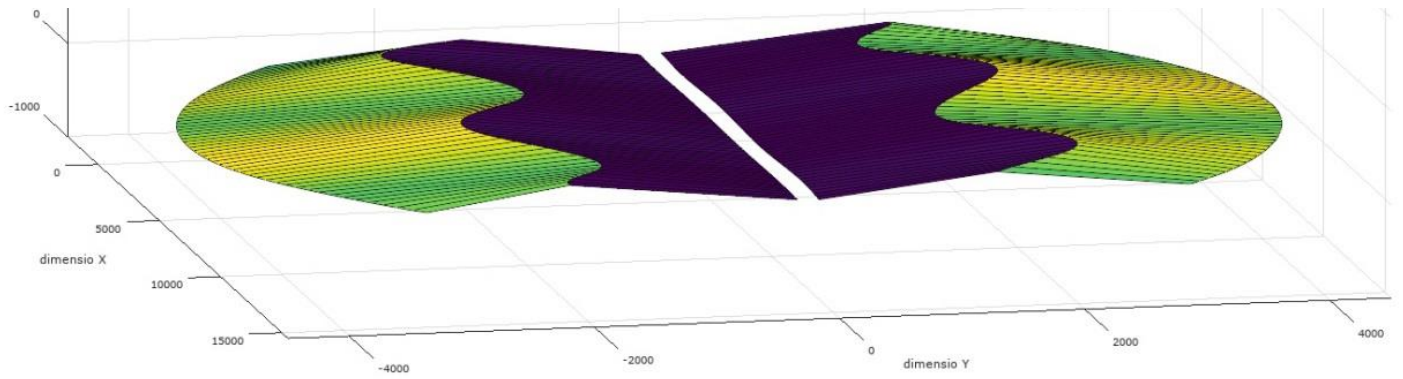
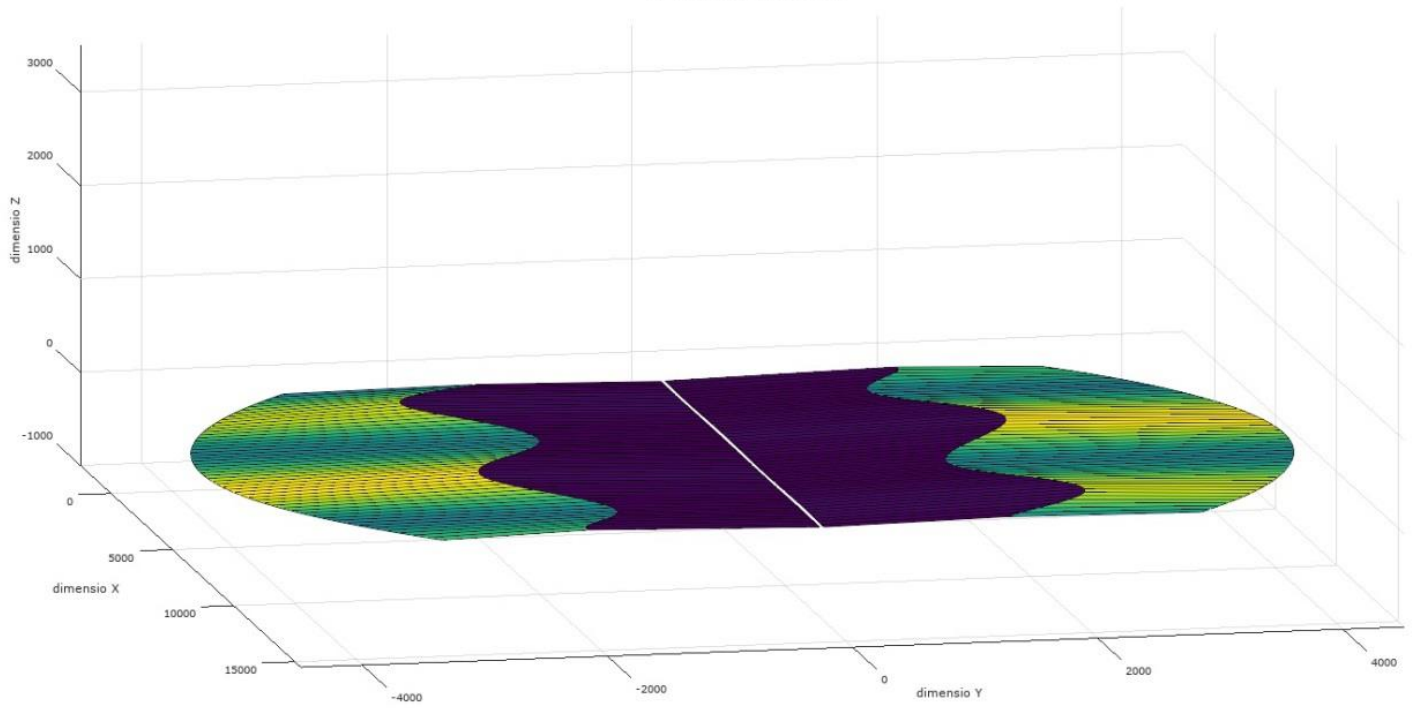
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %

ample=250;        %[mm] Ample dels braços
rec=1500;          %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
```

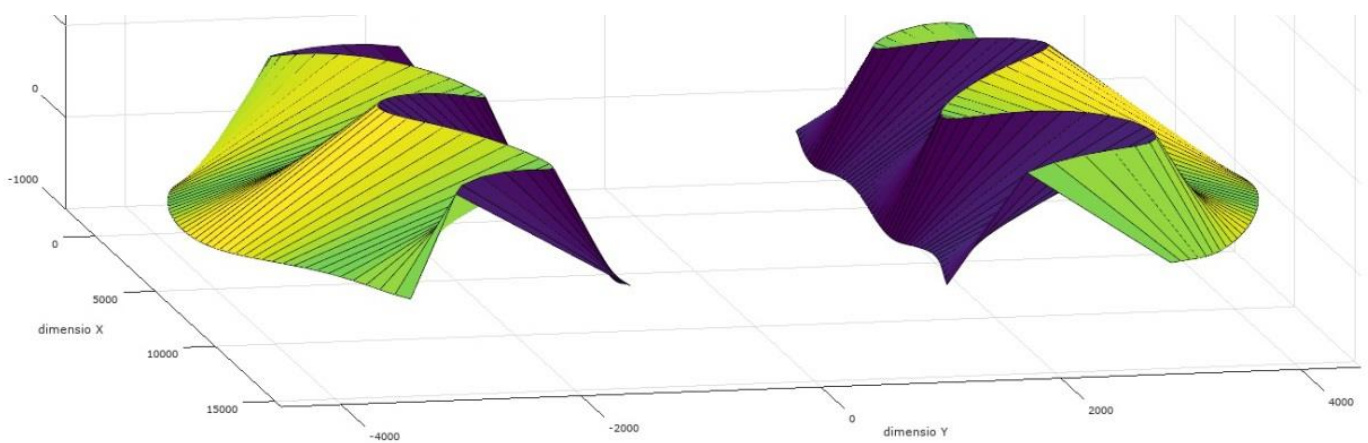
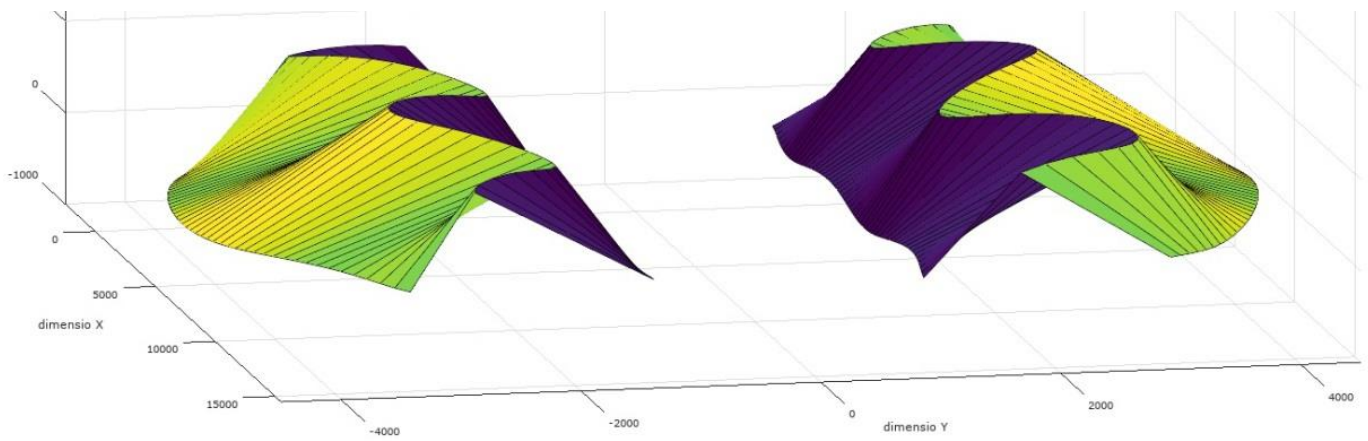
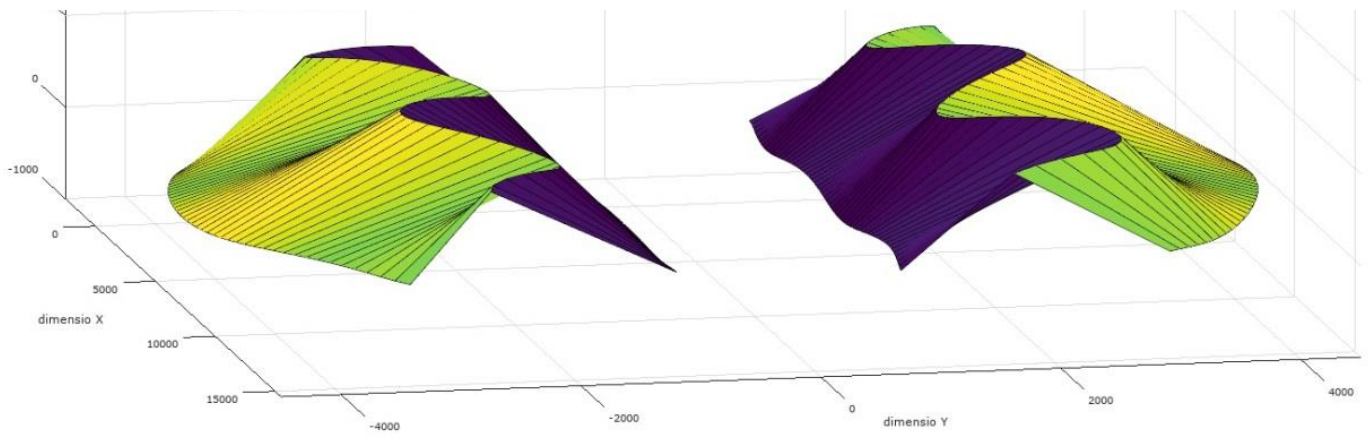
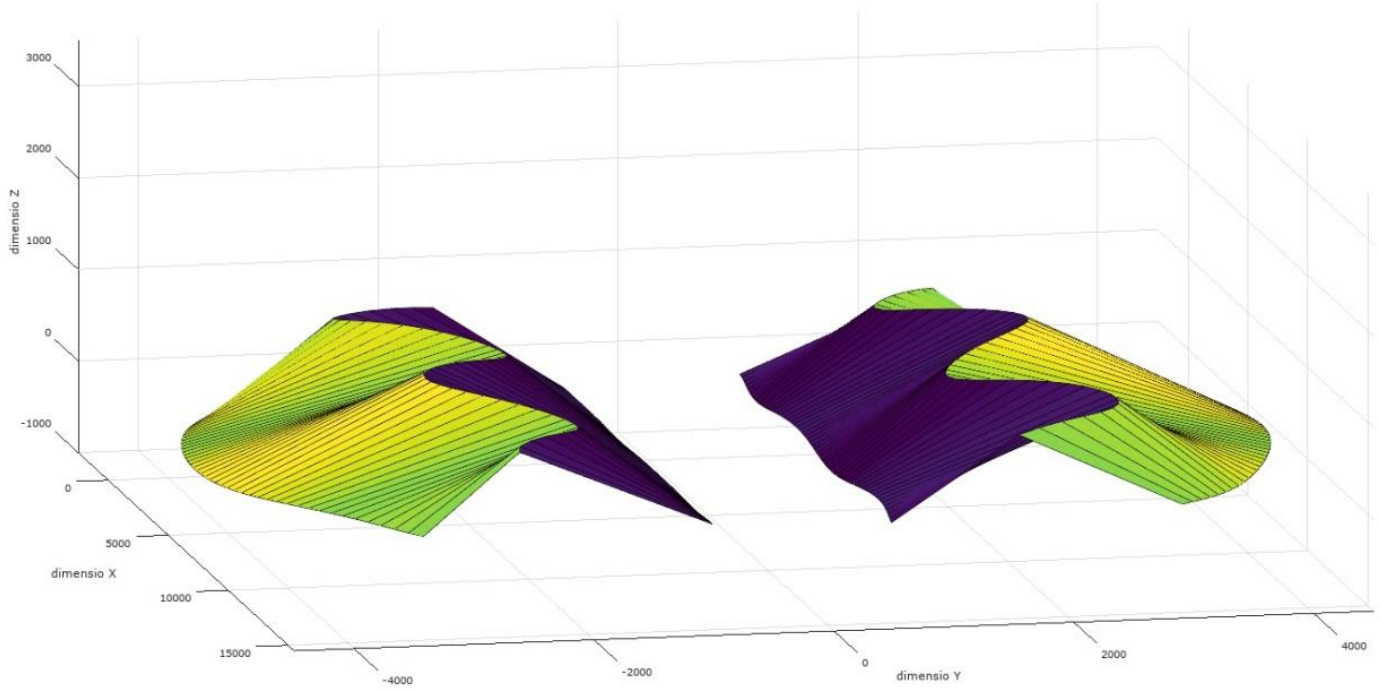
CORBES DELIMITADORES DE LES ARTICULACIONS



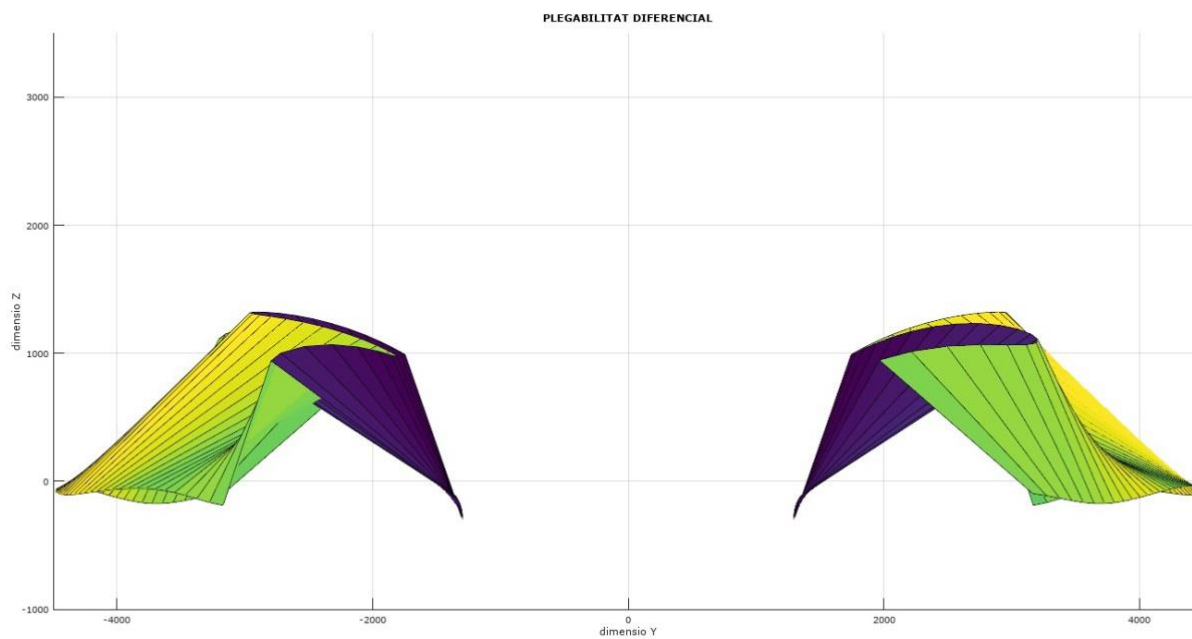
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



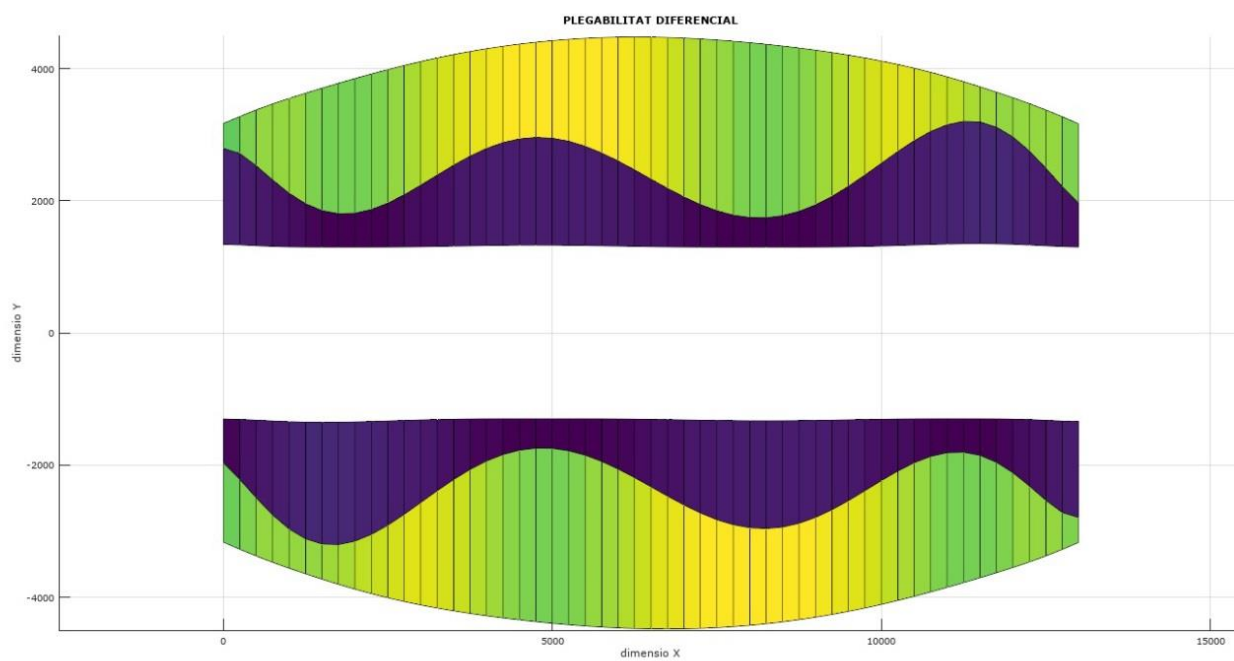
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



VISTA EN PERFIL DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



VISTA EN PLANTA DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



8.2.5 OPCIÓ 5

% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 2D %

```
long_tot=13000;    %[mm] Longitud "x" de la intervenció
ext1=3000;         %[mm] Distància "y" (veure esquema)
ext2=1325;        %[mm] Distància "y" (veure esquema)

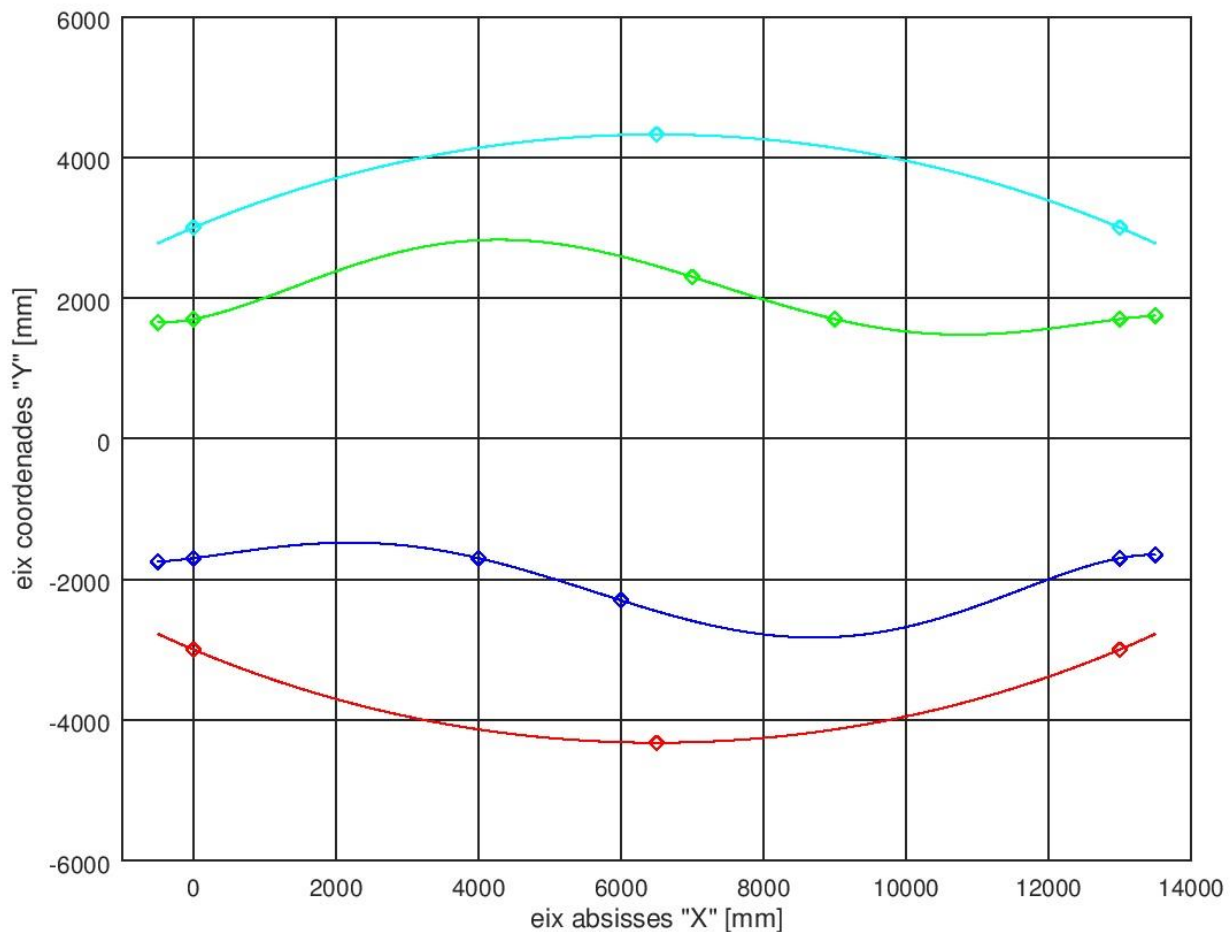
R=[-500,1650;0,1700;7000,2300;9000,1700;13000,1700;13500,1750];
    %[mm] Punts definidors de la corba R (veure esquema)
S=[-500,-1750;0,-1700;4000,-1700;6000,-2300;13000,-1700;13500,-1650];
    %[mm] Punts definidors de la corba S (veure esquema)

Az=150;           %[mm] Profunditat articulacions A (veure esquema)
Cz=285;           %[mm] Profunditat articulacions C (veure esquema)
Cy=100;           %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
d=90;             %[mm] Voladís articulacions C (veure esquema)
```

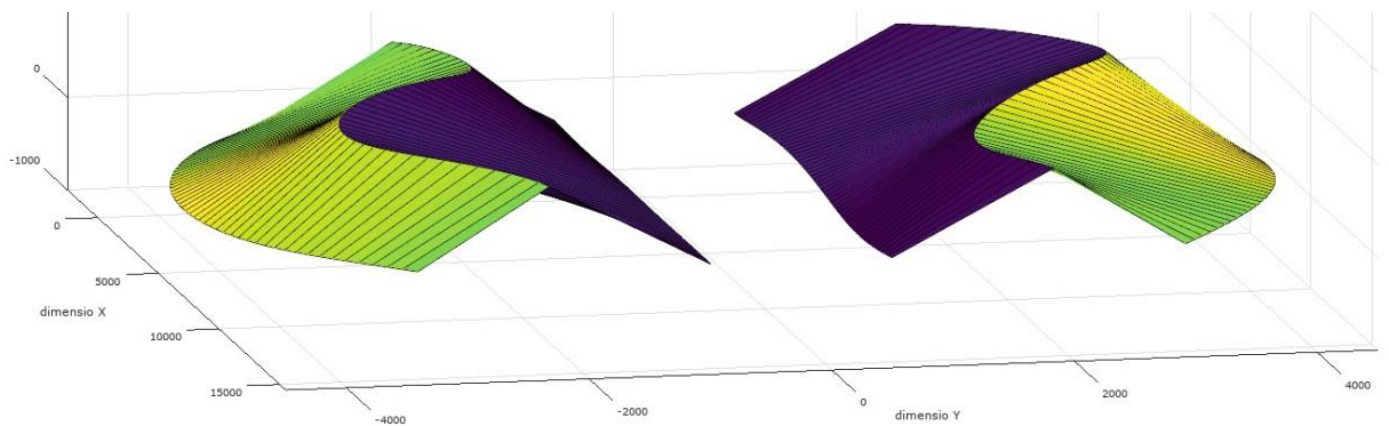
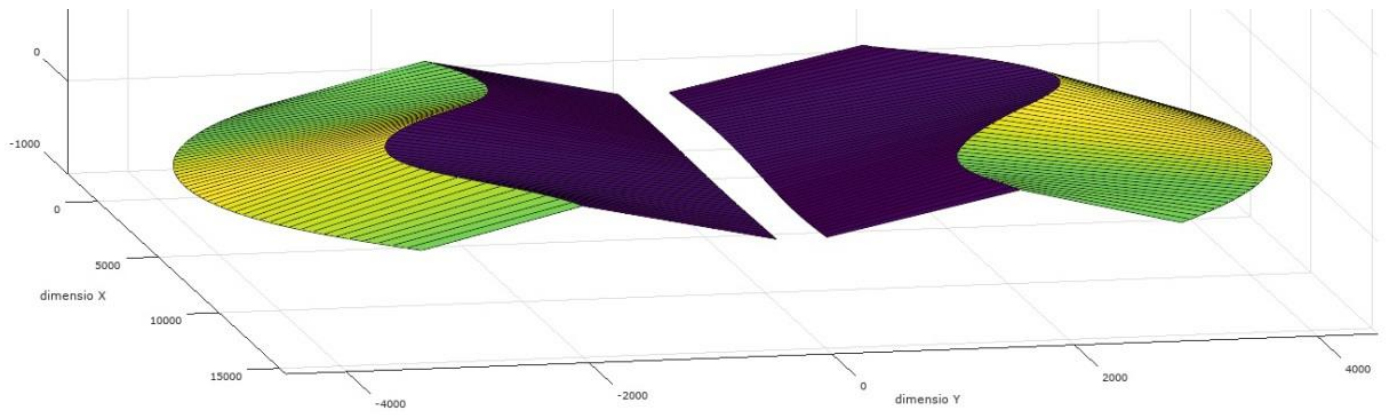
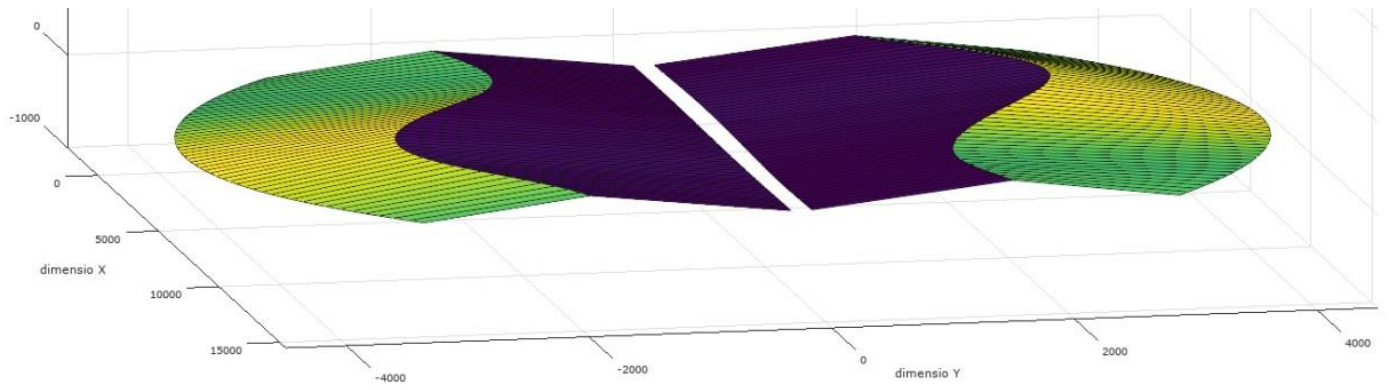
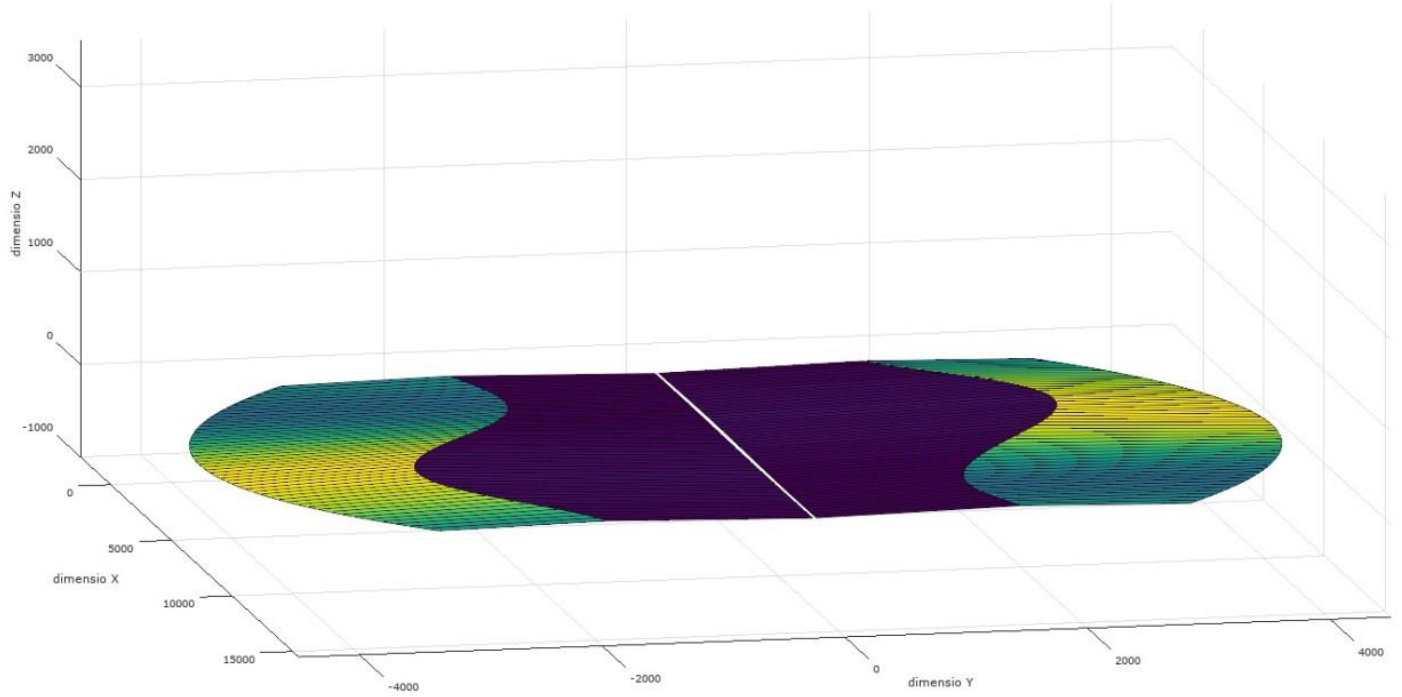
% PARÀMETRES DEFINICIÓ CORBES 3D %

```
ample=250;        %[mm] Ample dels braços
rec=50;           %[mm] Recorregut d'obertura punt C (veure esquema)
```

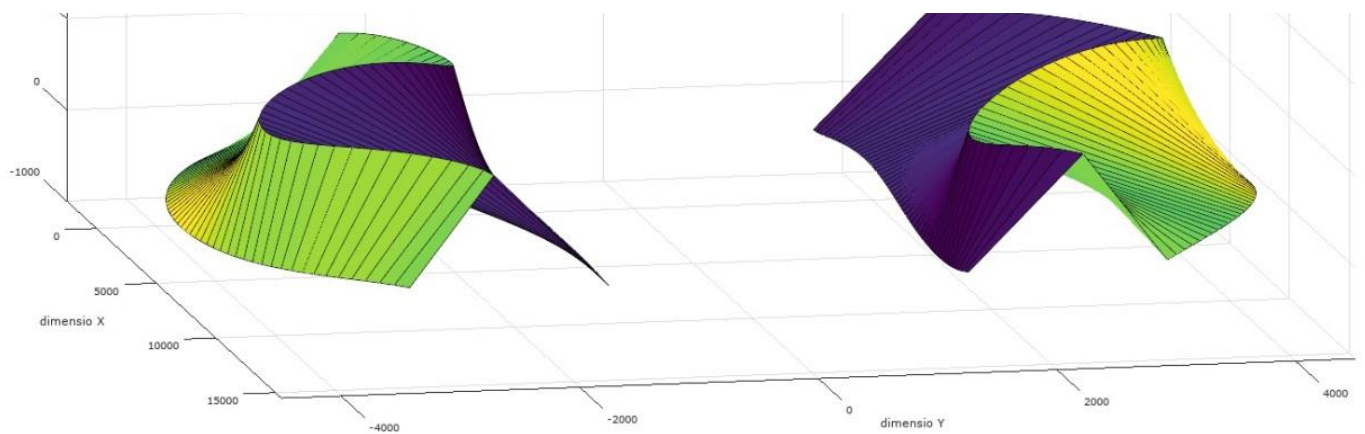
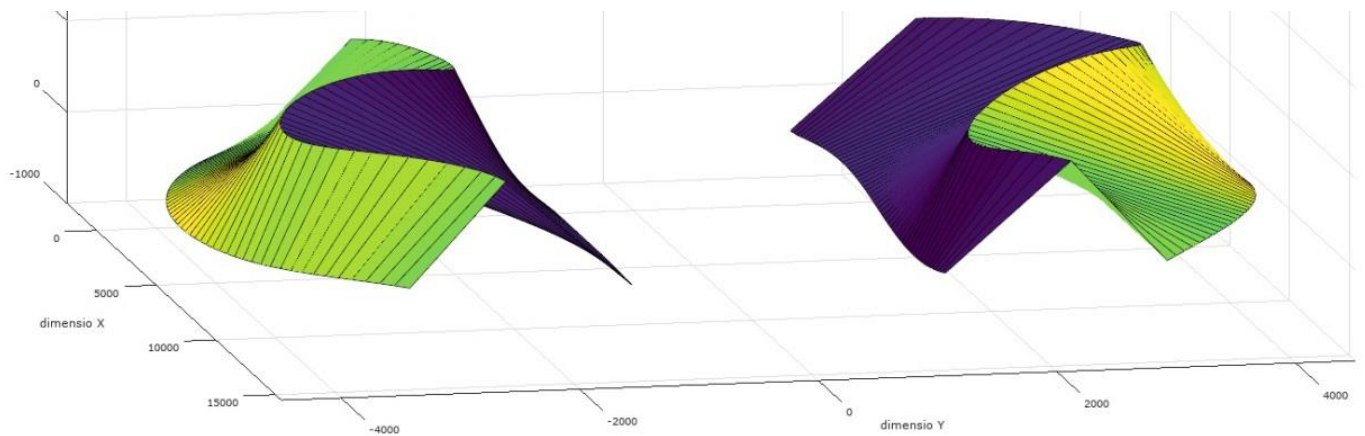
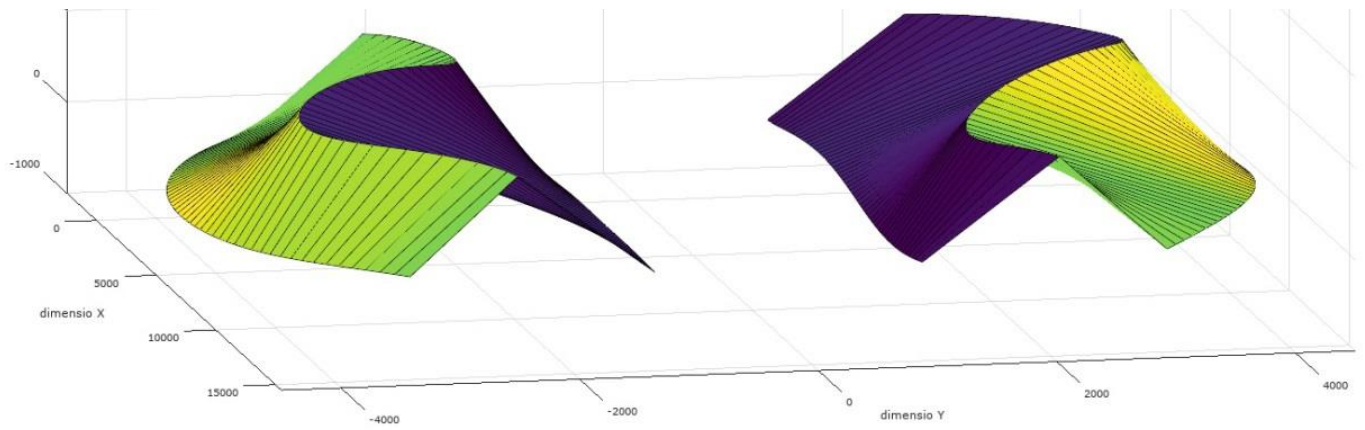
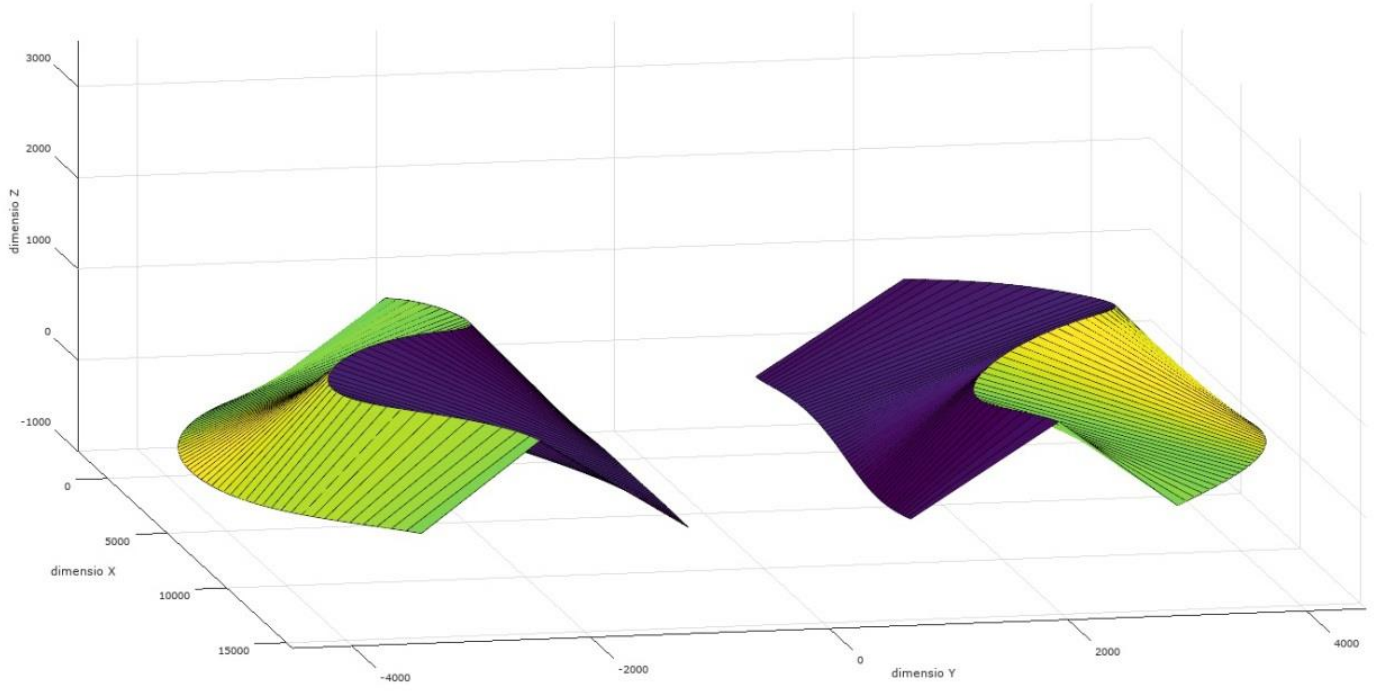
CORBES DELIMITADORES DE LES ARTICULACIONS



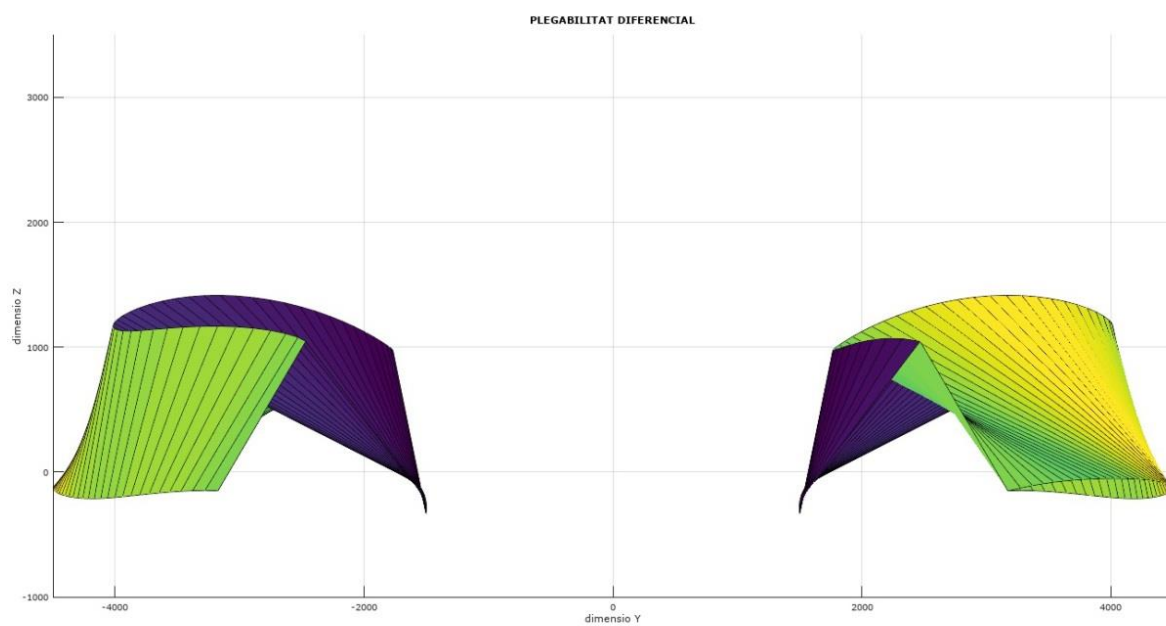
PLEGABILITAT DIFERENCIAL



PLEGABILITAT DIFERENCIAL



VISTA EN PERFIL DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA:



VISTA EN PLANTA DEL MECANISME EN POSICIÓ DE MAXIMA OBERTURA

